ஒளியியல்

(பட்டப்படிப்பிற்குரிய சிறப்புப் பாடம்)

பிற்சேர்க்கை

(திருத்தப்பட்ட பாடத்திட்டத்தின்கீழ் வெளியிடப்படுகிறது)

ஆசிரியர்

டாக்டர் வி. சண்முகசுந்தரம், M.A., M.Sc., Ph.D., M. Inst. P.,

ரீடர், இயற்பியல் துறை,

அண்ணாமலைப் பல்கலைக் கழகம்,

அண்ணாமலை நகர்.

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

upplement—May, 1973

LIGHT—Supplement

DR. V. SHANMUGASUNDARAM

Price Rs. 1-15

(Or supplied free of cost when original book is purchased)

'Published by the Tamil Nadu Text Book Society under the Centrally Sponsored Scheme of Production of books and literature in regional languages at the University level, of the Government of India in the Ministry of Education and Social Welfare (Department of Culture), New Delhi.'

Printed by
KUMARAN PRESS,
298, Mint Street,
Madras-1.

பொருளடக்கம்

		பக்கம்
1.	நிறமாலையியல் ...	1
2.	டாப்ளர் விளைவு ...	19
3.	ஒளிச் சிதறல் ...	25
4.	ஒளியின் மின்காந்தக் கொள்கை ...	31
5.	ஒளிப்படவியல் ...	39

1. நிறமாலையியல்

ஒரு நிறமாலைமானியின் பிளவில் சூரிய ஒளிக் கற்றையை விழச் செய்தால், நிறமாலைமானியின் இணையாக்கி, ஒளிக் கற்றையை இணைக் கதிர்களாக மாற்றி முப்பட்டகத்தில் விழச் செய்கிறது. முப்பட்டகத்தின் வழியாக ஊடுருவும் ஒளிக் கதிர்கள் நிறப்பிரிகை அடைந்து பல்வேறு வண்ண ஒளிகளாகத் தெரியும். இவ்வாறு நிறப்பிரிகையால் கிடைக்கும் நிறத்தொகுதி 'நிறமாலை' (Spectrum) எனப்படும். இதனை 4·1 ஆம் பகுதியில் படித்தோம். சூரிய ஒளிக் கற்றைகளை மட்டுமின்றி பல்வகையான ஒளிமூலங்களி லிருந்து கிடைக்கும் ஒளிக் கற்றைகளைக் கொண்டும் நிறமாலைகள் தோற்றுவிக்கலாம். இத்தகைய நிறமாலைகள் அவ்வொளி மூலங் களின் பண்புகளை வெளிப்படுத்துகின்றன. பல்வேறு ஒளிமூலங்கள், அவற்றின் பண்புகளுக்கேற்ப வெவ்வேறு அலை நீளங்களைக் கொண்ட ஒளிக்கற்றைகளை வெளியிடுகின்றன. எனவே, ஒரு பொருளினை ஒளிரச் செய்து, அவ்வொளியை நிறமாலையின் மூலமாகப் பயன்படுத்தி, நிறமாலையினைத் தோற்றுவித்து, அந் நிறமாலையின் அலை நீளங்களைக் கணக்கிட்டு, அம் மூலப்பொருள் களின் இயற்பண்புகளை அறிந்திடமுடியும். இந்தப் பகுதி "நிறமாலையியல்" எனப்படும். நிறமாலையினை அவற்றைத் தோற்று விக்கும் ஒளிமூலங்களைக் கொண்டு பின்வரும் பிரிவுகளாகப் பிரிக்க லாம்.

வெண்சுடர் நிறமாலை (Incancdescence Spectrum)

ஒரு திடப்பொருளை மிக உயர்ந்த வெப்பநிலைக்குக் கொண்டு சென்றால், அது ஒரு தொடர் நிறமாலையைத் தோற்றுவிக்கும். பொருளின் வெப்பநிலை உயர உயர, பல்வேறு நிறங்களும் படிப்படி யாக ஒன்றுடன் ஒன்று படிந்து தோன்றும். டங்ஸ்டன் இழையா லான ஒரு மின் விளக்கு இத்தகைய மூலமாகப் பொதுவாகப் பயன் படுத்தப்படுகிறது. இத்தகைய ஒளிமூலங்களின் வெப்பநிலை 2100° செ. வரையிலிருக்கும்.

புன்சென் சுடர் நிறமாலை (Bunsen flame)

ஒரு பொருளை புன்சன் சுடரில் ஒளிவிளக்கமற்றப் பகுதியில் (Non luminous) இடும்பொழுது, அப் பொருளினின்று வெளி வரும் ஒளியினுல் ஏற்படும் நிறமாலையில் தோன்றும் வரிகள் அப் பொருளின் பண்புகளைக் காட்டும். ஒரு ஆஸ்பெஸ்டாஸ் (Asbestos) வளையத்தை ஒரு தனிம உப்புக் கரைசலில் (Metallic salt solution) நனைத்து புன்சன் சுடரில் வைப்பதன்மூலம் அத் தனிமத்தின் நிறமாலையினைப் பெறலாம். இந்த முறையில் சில ஆண்டுகளுக்கு முன்வரை சோடியம் சுடர் பெற்று வந்தது. இப்பொழுது பொதுவாக சோடியம் ஆவி விளக்கு (Sodium Vapour Lamp) பயன்படுத்தப்படுகிறது.

வில் நிறமாலை (Arc spectrum)

இரு கரிக் கம்பிகளை, ஒரு மின் இணைப்புடன் இணைத்து, அக் கம்பிகளின் முனைகளை ஒன்றுடன் ஒன்று தொடச் செய்து, சிறிது விலக்கினுல், அவ்விரு முனைகளுக் கிடையில் தோன்றும் காற்று வெளியில் ஓர் ஒளி வில் தோன்றும். இதனை மூலமாகப் பயன் படுத்தினுல் ஒரு தொடர் நிறமாலை தோன்றும். இதில் ஒரு கரிக் கம்பியில் ஒரு பொருளை வைத்தால், இதன் விளைவாகத் தோன்றும் நிறமாலையில், தொடர் நிறமாலையுடன் மேல் பொருந்தி அப் பொருளுக்கான நிறமாலையும் பெறப்படும். ஆனுல் இரும்பு, செம்பு போன்ற தனிமங்களுக்கான நிறமாலைகளை இக் கம்பிகளைக்கொண்டு ஒளி வில் தோற்றுவித்துப் பெறலாம்.

ஒரு நீண்ட கண்ணுடிக் குழாயில் ஒரு பகுதி பாதரசத்தை அடைத்து, அக் குழாயின் இரு முனைகளிலும் இரு மின்வாயினை இணைத்து பின் அக் குழாயிலுள்ள காற்றினை வெளியேற்றி மூடி விடவேண்டும். இரு மின் வாய்களையும் ஒரு மின் இணைப்புடன் பிணைத்து, குழாயினைச் சாய்த்துப் பாதரசம் இரு வாய்களையும் தொடச் செய்து பின் குழாயை நிமிர்த்தினுல் பாதரசம் இரு பகுதிகளாகப் பிரிந்து ஒரு சிறு இடைவெளியைத் தோற்றுவிக்கும்போது அங்கு ஒளி வில் தோன்றும். இந்த முறையில் பாதரச ஒளி வில் பெறமுடியும்.

பொறி நிறமாலை (Spark spectrum)

இரு உலோக மின்வாய்களை ஒரு தூண்டு மின்சுருளின் துணைச் சுருளுடன் இணைப்பதின்மூலம் அல்லது ஓர் உயர் மின் அழுத்த மின்மாற்றியின் துணைச் சுற்றுடன் இணைப்பதின்மூலம் தொடர்ச்சியான மின்பொறிகளைப் பெறலாம். இவ்வாறு பெறும்

பொறியினை மூலமாகப் பயன்படுத்திக் கிடைக்கும் நிறமாலை, அவ்வுலோகங்களின் ஒளி வில் மூலம் கிடைக்கும் நிறமாலையினின்று மாறுபட்டிருக்கும். இவ்வாறு கிடைக்கும் பொறி நிறமாலையிலிருந்து அவ்வுலோகங்களின் அணுக்களின் பண்புகளுடன், அவற்றின் அயனிகளின் பண்புகளையும் அறியலாம்.

நிறமாலையின் பிரிவுகள்

பொதுவாக நிறமாலையினை இரு பிரிவுகளாகப் பிரிக்கலாம்.

(1) வெளிவிடு நிறமாலை (Emission spectrum)

(2) உட்கவர் நிறமாலை (Absorption spectrum)

மூன் பிரிவில் நாம் கண்ட எந்த ஓர் ஒளி மூலத்திலிருந்து வெளிவிடப்படும் நிறமாலை 'வெளிவிடு நிறமாலை' எனப்படும். மாறாக இவ்வாறு வெளிவரும் ஒளி ஓர் ஊடகத்தின் வழிச் செல்லுமானால் அவ்வூடகம் சில நிற ஒளியினை உட்கவர்ந்து கொள்ளும். எனவே, அதன்பின் தோன்றும் நிறமாலையில் அந்நிறம் தோன்றாது. இதனை 'உட்கவர் நிறமாலை' என்பர். சில ஊடகங்களில் நிறமாலையில் கண்ணுறு நிறங்களனைத்தும் உட்கவரப்படும். இதனைப் பொதுவான உட்கவர்தல் (General absorption) என்றும், சில ஊடகங்களில் குறிப்பிட்ட சில நிறங்கள் மட்டும் உட்கவரப்படுதலைத் 'தேர்ந்துட்கவர்தல்' (Selective absorption) என்றும் பிரிக்கலாம்.

வெளிவிடு நிறமாலை

வெளிவிடு நிறமாலையினைத் 'தொடர் நிறமாலை' என்றும், 'தொடர்ச்சியற்ற நிறமாலை' என்றும் இரு பிரிவுகளாகப் பிரிக்கலாம்.

தொடர் நிறமாலை (Continuous spectrum)

தொடர் நிறமாலை அதன் ஒரு முனையிலிருந்து மறுமுனை வரை தொடர்பறுத முறையில் ஒளியின் எல்லா அலை நீளங்களையும் கொண்டிருக்கும். இத் தொடர் நிறமாலை ஒரு திடப் பொருளின் உயர்ந்த வெப்பநிலையால் ஏற்படும் வெண்சுடராலோ அல்லது ஒரு வாயுவின் அடர்மிகுந்த ஒளி விளக்கப் பகுதியினுலோ ஏற்படுவதாகும். நிறமாலைப் பட்டையில் புள்ளிக்குப் புள்ளி நிறம் மாறுபடும். சில பகுதியில் நிறச் செறிவு மிகுந்து அதன் இரு பகுதிகளிலும் சீராகக் குறைந்தும் காணப்படும். ஒளி வழங்கும் பொருளின் வெப்பநிலை உயர உயர இப் பெரும் செறிவுப் பகுதி நிறமாலையின் ஊதாப் பகுதியை நோக்கி நகரும்.

பட்டை நிறமாலை (Band spectrum)

ஒரு பட்டை நிறமாலை, பல அகலமான ஒளிவிளக்கப் பட்டைகளைக் கொண்டிருக்கும். இப் பட்டைகளின் ஒரு பக்க விளிம்புகள் கூர்மையாக வரையறுக்கப்பட்டிருக்கும். இது கந்தகப் பட்டையின் முகப்புப் பகுதி. மற்றொரு விளிம்பு கொஞ்சம் கொஞ்சமாகத் தேய்ந்து மறைந்துவிடும். இப் பட்டைகளை ஓர் ஆற்றல் மிகுந்த பிரி திறனுடைய கருவியின் வழியாகப் பார்க்கும்பொழுது, ஒவ்வொரு பட்டையும் பல துல்லியமான நுண்ணிய வரிகளைக் கொண்டிருப்பதாகக் காணலாம். இத்தகைய வரிகள் பட்டையின் முகப்புப் பகுதியில் நெருக்கமாக இருக்கும். நிறமாலைகள் கிளர்ச்சியுண்ட ஒரு தனிமம் அல்லது கூட்டுப்பொருளின் மூலக் கூறுகளால் ஏற்படுவதாகும்.

வரி நிறமாலை (Line spectrum)

ஒரு சோடியம் விளக்கிலுள்ள சோடியம் ஆவியை ஒத்த அணு நிலையில் உள்ள பொருள்கள் வெளியிடும் ஒளி மூலத்திலிருந்து பெறப்படும் நிறமாலையில் தனித் தனியான ஒளி மிகுந்த பலநிற வரிகள் காணப்படும். சில வரிகள் ஒவ்வொன்றும் ஒளியின் வெவ்வேறு அலை நீளங்களையுடையன. இத்தகைய நிறமாலை 'வரி நிறமாலை' எனப்படும். பாதரச ஆவிவிளக்கு, சோடியம் ஆவிவிளக்கு போன்ற ஒளிமூலங்களைக் கொண்டு பெறப்படும் நிறமாலைகள் வரி நிறமாலைகளாகும். இதேபோல் குறைந்த அழுத்தத்திலுள்ள ஹைடிரஜன் அல்லது ஹீலியம் வாயுக்களின் வழியாக மின்னோட்டத்தைப் பாயச் செய்தால் ஏற்படும் ஒளிமூலத்தினைக் கொண்டும் வரி நிறமாலையினைப் பெறலாம். இத்தகைய நிறமாலைகள் பொதுவாகப் பொருள்கள் அணுநிலையில் இருக்கும்போது வெளியிடப்படுவதாகும். எனவே, வரி நிறமாலையினைக் கொண்டு அப் பொருளின் அணுப் பண்புகளை அறியலாம்.

கட்புலனாகா கதிர் வீச்சுகள் (Invisible radiation)

நாம் மேலே கண்ட ஒளிக் கதிர்வீச்சுகள், நம் கண்ணில் படும்போது பார்வை உணர்வை உண்டாக்கக் கூடியவை. இதனைக் கதிர் வீச்சின் கண்ணுறு பகுதி (visible region) என்பர். இக் கண்ணுறு பகுதியின் ஒளி அலை நீளங்கள் 4000° ஆங்ஸ்ட்ராம் அலகிலிருந்து 7000° ஆங்ஸ்ட்ராம் அலகுகளுக்குள் அடங்கும். இதனுள் ஊதா நிறம் முதல் சிவப்பு நிறம் வரைத் தோன்றும். ஆனால் ஊதா, சிவப்பு இரு நிறப்பகுதிகளுக்கு வெளிப்பகுதிகளில் கண்ணுக்குப் புலனாகாத, கட்புலனாகா கதிர் வீச்சுகள் (Invisible radiations) உள்ளன. இவை சிவப்பிற்கு

வெளியே 400,000° ஆ. அலகுகள் வரையிலும், ஊதாவிற்கு வெளியே 136° ஆ. அலகு வரையிலும் பரவி இருக்கும். சிவப்பிற்குப் புறத்தே உள்ள கதிர் வீச்சுப்பகுதியைப் புறச்சிவப்பு (Infra red) என்றும், ஊதாவிற்குப் புறத்தே உள்ள பகுதி புற ஊதா (Ultra violet) என்றும் கூறப்படும்.

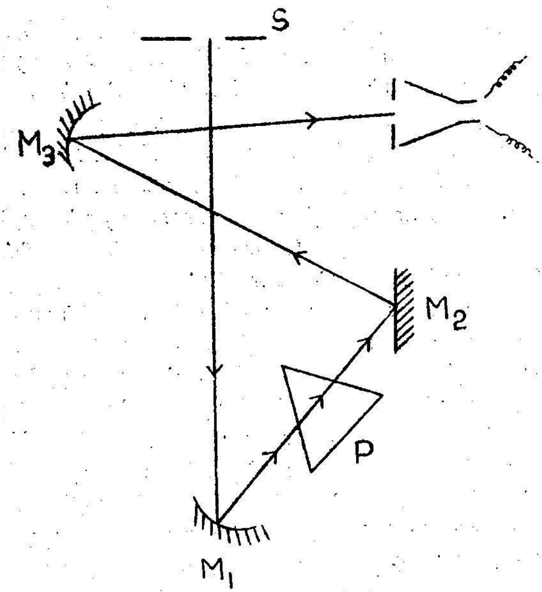
புறச்சிவப்பு நிறமாலை (Infra red Spectrum)

நிறமாலைப் பிரிவில், புறச்சிவப்புப் பகுதி முதன் முதலாக, 1800ஆம் ஆண்டு சர் வில்லியம் ஹர்ஸ்கில் என்பவர் கணடறிந்தார். சூரிய நிறமாலையில் சிவப்பு நிறத்திற்கு வெளிப் பகுதிகளில் ஒரு வெப்பநிலைமானியின் பாதரசக் குமிழ் படுமாறு செய்ததில் அது வெப்பநிலை உயர்வைக் காட்டிற்று. இந்தப் புறச்சிவப்புக் கதிர் பொதுவாக சூரியனாலும், மற்றும் அதிக வெப்ப நிலையில் உள்ள பொருள்களாலும் வெளியிடப்படுகின்றன. புறச்சிவப்புக் கதிர்வீச்சை அதன் வெப்பத் தன்மையால்தான் அறிந்திட முடிகிறது. இதனை அறிந்து கொள்ள, குரூக் கதிர்விச்சுமானி (Crooke's Radiometer), ரேடியோ மைக்ரோ மீட்டர் (Radio micrometer) மற்றும் வெப்பமின் இரட்டை அடுக்கு (Thermopile) போன்ற கருவிகள் பயன்படுகின்றன. இப் பகுதி நிறமாலை கண்ணுறு பகுதியினைப் போலத் தொடர் நிறமாலையாக அமைந்துள்ளது. இதிலும் சில பகுதிகளில் உட்கவர் பகுதிகள் உள்ளன. இப் பகுதிகள் எந்தவிதமான வெப்பமும் காட்டா. இப்புறச் சிவப்புப் பகுதி கதிர் வீச்சுகள் கண்ணுறு பகுதி கதிர் வீச்சுகளுக்கான பண்புகளைப் பெரும்பாலும் பெற்றிருக்கின்றன. புறச் சிவப்புக் கதிர் வீச்சைக் கண்ணாடி உட்கவர்வதால், இப் பகுதிக்கான நிறமாலை மானியின் முப்பட்டகங்களும் வில்லைகளும் கண்ணாடிக்குப் பதில் குவார்ட்ஸ், இந்துப்பு (Rock salt), சோடியம் குளோரைடு போன்ற பொருள்களாலானதாக இருக்கும். ஒரு புறச்சிவப்பு நிறமாலைமானியின் அமைப்பை அடுத்த பக்கத்தில் உள்ள படம் 1-ல் காணலாம்.

ஒளி மூலத்திலிருந்த ஒளிக்கதிர்கள் ஒரு வெள்ளிக் குழி ஆடியின் (M_1) மூலம் இணையாக்கப்பட்டு இந்துப்பாலான முப்பட்டகத்தின் வழிச் சென்று நிறப்பிரிகை அடைகிறது. நிறப்பிரிகை அடைந்து வெளிவரும் ஒளிக்கற்றை M_2 M_3 ஆகிய குழி ஆடிகளின் எதிரொளிப்புக்குப்பின் ஒரு தர்மோபைலின்மீது விழுகிறது. தர்மோபைல் அதன்மீது விழும் ஆற்றல் செறிவைக் காட்டும். வைன் (Wien's Law) விதிப்படி,

$$\lambda_m T = 0{\cdot}2885 \text{ ஆகும்.}$$

தர்மோபைலின்மூலம் அதன்மீது விழும் கதிர் வீச்சின் வெப்ப நிலையை அறிந்து அதன் அலை நீளத்தைக் கணக்கிடலாம். புறச் சிவப்புக் கதிர்கள் காற்று அல்லது மூடுபனியால் உட்கவரப்படுவதில்லை. எனவே, புறச்சிவப்புக் கதிர் நிழல்படம் மூடுபனியின் ஊடே நீண்ட தூரத்திற்கு எடுக்கமுடியும். இரண்டாம் உலகப் போரில் புறச்சிவப்பு நிழல்படம் பெரிதும் பயன்படுத்தப்பட்டது. புறச்சிவப்புக் கதிர்கள், மனித உடலில் ஆழமாக உட்சென்று வெப்பமூட்டக் கூடியது. இதனை மருத்துவத் துறையில் பயன் படுத்துகிறார்கள்.



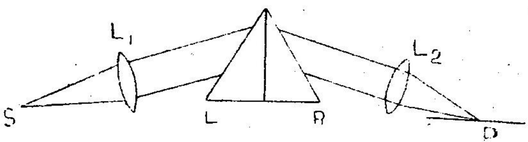
படம் 1.

வேதியல் சேர்மங்களின் பகுப்பாய்வுத் துறையில் (Analysis of Chemical Compound) புறச்சிறப்பு உட்கவர் நிறமாலை பெரிதும் பயன்படுகிறது. மேலும், மூலக் கூறுகளின் இனங்கண்டு அவற்றின் அமைப்பினை அறிவதற்கும் புறச்சிவப்பு நிறமாலை பயன்படுகிறது.

புறஊதா நிறமாலை (Ultra - violet spectrum)

நிறமாலையின் புறஊதாப் பகுதி 1801ஆம் ஆண்டு ரைட்டர் (Ritter) என்பவரால் கண்டறியப்பட்டது. சூரிய ஒளியில் புற ஊதாக் கதிர்வீச்சுப் பகுதி மிகுந்திருக்கும். செயற்கை முறையில்

பாதரச வாயு விளக்கு, கரியை மின்வாயாகக் கொண்ட மின் வில் முதலியன புறஊதாக் கதிரினைப் பெருமளவில் வெளியிடுகின்றன. சாதாரண கண்ணாடி புறஊதாக் கதிர்களை உட்கவர்ந்துவிடும். எனவே, புறஊதா நிறமாலை காட்டிகள், இந்துப்பு, குவார்ட்ஸ், ஃபுளோரைட் (Fluorite) போன்ற பொருள்களாலான வில்லை களையும், முப்பட்டகங்களையும் பயன்படுத்தவேண்டும். குவார்ட் ஸாலான வில்லையையும், மற்றும் குவார்ட்ஸாலான கார்னு (Cornu) பட்டகத்தையும்கொண்ட ஒரு புறஊதா நிறமாலை காட்டி படம் 2-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.



படம் 2.

இதில் S தகுந்த புறஊதா கதிர்வீச்சால் ஒளிரச் செய்த ஒரு சிறிய பிளவு. இஃது ஒளி மூலமாகப் பயன்படுகிறது. இதிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்கள் வில்லையின் வழியாக முப்பட்டகத்தில் விழுகின்றன. குவார்ட்ஸ் இரட்டை ஒளி விளக்கு ஊடகமாதலால் இரு பிம்பங்களைத் தோற்றுவிக்கும். இதனுல் பிம்பத்தின் செறிவு குறைந்து வரும். இதனை ஈடு செய்யும் வகையில் முப்பட்டகம் 30° உச்சிக் கோணத்தைக் கொண்ட இரு குவார்ட்ஸ் பட்டகங்களை இணைத்துப் பெறப்பட்டுள்ளது. மேலும், இவ்விரு பட்டகங்களும் ஒன்று வலஞ்சுழி குவார்ட்ஸாலும், மற்றொன்று இடஞ்சுழி குவார்ட்ஸாலும் ஆனது. இத்தகைய குவார்ட்ஸ் நிறமாலைகாட்டிகளை 4000° ஆங்ஸ்ட்ராம் அலகு முதல் 1850° ஆங்ஸ்ட்ராம் அலகு வரையிலான அலை நீளங்களுக்குப் பயன் படுத்தலாம். 1850° ஆ. அலகின் கீழ் உள்ள அலைகளுக்குக் குவார்ட்ஸ் ஒளிபுகா ஊடகமாகச் செயல்படுகிறது. 1850° ஆ. அலகு முதல் 200° ஆ. அலகு வரையான புறஊதாப்பகுதியினை முதலில் ஆராய்ந்தவர் ஸ்குயூமன் (Schuman) என்ற விஞ்ஞானி ஆவார். அதன் காரணமாக இப் பகுதி ஸ்குயூமன் பகுதி எனப் படும். அவர் ஃபுளுேரைட்டினுலான ஒளிப்பாதைப் பகுதிகளைப் பயன்படுத்தி நிறமாலை காட்டியினை முழு வெற்றிடப் பெட்டிக்குள் அமைத்துப் பயன்படுத்தினுர். நிறமாலையினைப் புகைப்படம் செய்ய இதற்கெனத் தனியாக அமைந்த படத்தட்டுகளைப் பயன்படுத் தினுர். பின்னர் லைமன் (Lyman), மில்லிகன் (Millikan) முதலானவர்கள் 100° ஆ. அலகு வரையிலான பகுதியினைக் குழி கீற்றணியினைப் (concave grating) பயன்படுத்திப் பதிவு செய்தனர்.

புறஊதாப் பகுதி ஒளி ஆற்றல் மிக்க நுண்ணோக்கிகளை அமைக்கப் பயன்படுகின்றது. புறஊதாப் பகுதி ஒளியைப் பயன் படுத்துவதால், ஒளியியல் கருவிகளின் பிரி திறன் அதிகமாகிறது. எனவே, இப் பகுதி ஒளியினைப் பயன்படுத்தி எடுக்கப்படும் விலங்கியல் தவாரவியல் படங்கள் நுட்பமான பகுதிகளைத் தெளிவாகக் காட்டுகின்றன.

ஒளிர்தலும், நின்றொளிர்தலும் (Fluorescence and phosphorescence)

புற ஊதா ஒளி சில பொருள்களின் மேல் விழும்போது அவை கண்ணுறு ஒளியினை வெளியிடுகின்றன. எடுத்துக்காட்டாக நீர்த்த கந்தக அமிலத்தில் கரைத்த க்யுனைன் சல்பேட் (quinine sulphate) கரைசலில் புற ஊதா ஒளிக்கதிர்களை விழச் செய்தால் அது நீலநிற ஒளியை வெளியிட்டு ஒளிர்வதைக் காணலாம். இந் நிகழ்ச்சி ஒளிர்தல் (Fluorescence) எனப்படும். இத்தகைய பொருள்கள், அதன் மீது விழும் புற ஊதா ஒளியினை உட்கவர்ந்து அதில் பெரும் பகுதியினை உடனுக்குடன் அதனைவிட அதிக அலை நீளமுள்ள ஒளியாக வெளியிடுகிறது. இந்த உண்மை ஸ்டோக் விதி (Stoke's law) எனப்படும். இத்தகைய பொருள்களில் விழும் ஒளி ஆற்றல் அதன் அணுக்களை அல்லது மூலக்கூறுகளை அதனுடைய கீழ் ஆற்றல் மட்டத்திலிருந்து உயர்ந்த ஆற்றல் மட்டத்திற்கு உயர்த்துகின்றது. பின்னர் இவ்வணுக்கள் அல்லது மூலக்கூறுகள் தம்முடைய இயல்பு நிலைக்கு மாறும் போது உட்கவர்வதைவிட அதிக அலை நீளமுள்ள ஒளியினை வெளியிடுகின்றன. கடைகளில் கிடைக்கும் ஒளிரும் குழாய் விளக்குகளில் (Fluorescent tube lamps) அக் குழாயின் உள்பக்கத்தில் பாஸ்பர் (phosphor) என்ற ஒளிரும் பொருள் பூசப்பட்டிருக்கும். குழாயினுள் அடைபட்டிருக்கும் குறைந்த அழுத்தப் பாதரச வாயு வில்மூலம் வெளிவரும் புறஊதா ஒளியினைப் பாஸ்பர் உட்கவர்ந்து கண்ணுறு ஒளியினை வெளியிடும். இந்தகைய ஒளிரும் பொருள்கள் அப் பொருள்களில் புற ஊதாவினைக் கொண்ட ஒளி விழுந்து கொண்டிருக்கும்வரைதான் ஒளியினை வெளியிடும். இத்தகைய ஒளிரும் கதிர்வீசல் 10^{-9} முதல் 10^{-7} வினாடிகளுக்குத்தான் நிகழும். இவ்வொளிர்தல் பொருள் X-கதிர்கள், γ கதிர்கள் போன்ற ஆற்றல் மிக்க கதிர்களைக் கண்டு கொள்ளவும், அளக்கவும் பயன்படுகின்றன.

நின்றொளிர்தல் (Phosphorescence)

சில வகையான ஒளிரும் பொருள்களில் அதன்மீது புறஊதாக் கதிர் விழுவதால், கிளர்ச்சியுறும் அதன் அணுக்கள் அல்லது மூலக் கூறுகள் உடனடியாகத் தம்முடைய இயல்பு நிலைக்குத் திரும்பி

விடுவதில்லே. இத்தகைய பொருள்கள், அவைமீது கதிர்கள் விழுவது நின்ற பிறகும் ஒளிர்ந்துகொண்டிருக்கும். இத்தகைய ஒளிர்தல் 'நின்ருெளிர்தல்' எனப்படும். இத்தகைய ஒளிர்தல்கள் ஊதா அல்லது புறஊதாக் கதிர்கள் விழும்போதுதான் நிகழும். எனவே, இது புறஊதாக் கதிர்களே இனங் காண்பதற்குப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. கால்ஸியம் (Calcium), பேரியம் (Barium), மற்றும் ஸ்ட்ரேன்ஸியம் (Strantium) ஸல்பைடுகள் (Sulphides) இத்தகைய நின்ருெளிர்தலே ஏற்படுத்தும். இம்மாதிரியான சல்பைடுப் பொருள்கள் கலக்கப்பட்ட வண்ணப் பூச்சுகளில் சூரிய ஒளிப் பட்டால் பின்னர் இருளில் பல மணி நேரம் ஒளிரும்.

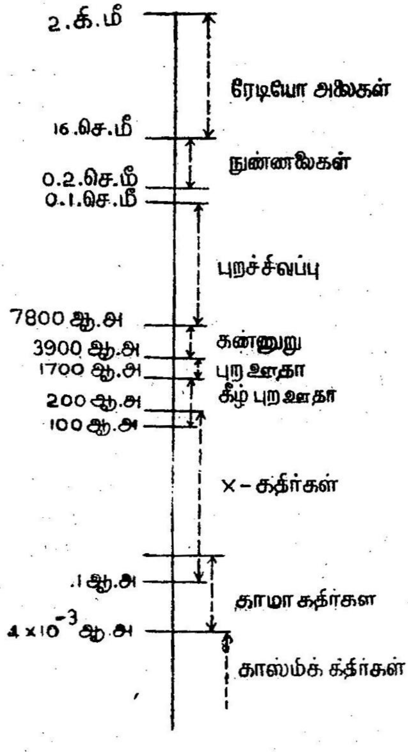
நின்ருெளிர்தல், கதிர் வீச்சுகள் அத்தகைய பொருள்களில் விழுவது நின்ற பின்னும் ஒளிதரும் என்பதைத் தவிர ஒளிர்தலுக்கும் நின்ருெளிர்தலுக்கும் பெரும் வேறுபாடு கிடையாது.

முழு மின்காந்த நிறமாலே (Complete Electromagnetic spectrum)

நாம் இதுவரை, நிறமாலேயில் நம் கண்ணில் பட்டு, பார்வைப் புலத்தைத் தூண்டும் பகுதியான கண்ணுறு பகுதியினேயும், சிவப்பு நிறத்தைவிட அதிக அலேநீளம் கொண்ட புறச்சிவப்புப் பகுதியினேயும், ஊதாவிற்குக் குறைவான அலேநீளங்களேக் கொண்ட புறஊதாப் பகுதியினேயும் பற்றி அறிந்துகொண்டோம். கடந்த பல ஆண்டுகளில் நடந்த நிறமாலேயியல் ஆய்வின் பயனுகப் புறச் சிவப்பு அலேநீளங்களேவிடப் பல ஆயிரம் மடங்கு அதிக அலே நீளங்களேக் கொண்ட ரேடிய அலேகளும், புறஊதா அலேநீளங்களேவிடப் பல ஆயிரம் மடங்கு சிறிய அலேநீளங்களேடைய X-கதிர், γ கதிர்களும் ஒளியின் எல்லாப் பண்புகளேயும் கொண்டிருப்பதாகக் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளது. இவ்வலேகள் அனேத்தும் 3×10^{10} செ.மீ./விஞடி என்ற ஒளியின் வேகத்தில் பரவுகின்றன.

1887-ல் ஹெர்ட்ஸ் (Hertz) என்பவர் புறச்சிவப்பு அலேகளேவிட நீளமான அலேகளேயுடைய ரேடியோ அலேகளேத் தோற்றுவித்தார். ரேடியோ ஒலிபரப்பில் பயன்படுத்தப்படும் அலேகளின் நீளம் 10^{8} செ. மீ. முதல் 10^{5} செ. மீ. வரையிலிருக்கும். பின்னர் மிகக் குறைந்த அலே நீளங்களேயுடைய நுண் அலேகள் (Micro Waves) தோற்றுவிக்கப்பட்டன. இவற்றின் நீளம் 1·8 மி·மீ அல்லது அதற்கும் குறைவானதாக இருக்கும். இந்த நுண் அலேகளின் கண்டுபிடிப்பு நிறமாலேயில் புறச் சிவப்புப் பகுதிக்கும் குற்றலே (Short waves) களுக்குமிடையிலுள்ள பகுதியை நிரப்புகிறது.

நிறமாலையின் மறுபகுதியில, புறஊதா அலை நீளங்களுக்குக் கீழே X-கதிர்கள் ஒளியின் எல்லாப் பண்புகளையும் கொண்டிருக்கின்றன. X-கதிர்கள் பகுதி 100 ஆ. அலகிலிருந்து ·1 ஆ. அலகு வரையிலுள்ளது. இக் கதிர்கள் அதிக ஊடுருவும் ஆற்றல் கொண்டவை. 0·1 அலகிற்குக் கீழ் γ-கதிர்களுள்ளன. இக் கதிர்கள் கதிரியக்கப் பொருள்களால் வெளியிடப் படுகின்றன. இந்த γ-கதிர்களைவிட அதிக ஊடுருவும் ஆற்றல் கொண்ட காஸ்மிக் கதிர்கள் (cosmic rays) இன்னும் குறைவான அலை நீளங்களைக் கொண்டவை.



படம் 3.

மேலே கூறிய எல்லா வகைக் கதிர் வீச்சுகளும், மின்காந்த அலைப் பண்புகளைக் கொண்டுள்ளன. அவை அனைத்தும் மின் காந்த நிறமாலை (Electro magnetic spectrum) என்ற பொதுப் பெயரில் அடங்கும். மின்காந்த நிறமாலையில் பல்வேறு பகுதி களும் மேலே காட்டப்பட்டுள்ளன. அதிலிருந்து நம் கண்ணுறு

பகுதிகளை நிறமாலேயில் ஒரு சிறு பகுதியாக உள்ளது என்பது தெளிவாகிறது.

இதில் குறிப்பிட்ட பல்வேறு பகுதிகளையும் தோற்றுவிக்கும் முறைகளும், இனங்கண்டு கொள்ளும் முறைகளும், அவற்றின் பயன்களும் வெவ்வேருனாலும், இவை அனைத்தும் ஒரே வகைப் பண்புகளைக் கொண்ட அலைகளையும், அவற்றின் அலை நீளங்களில் மட்டுமே வேறுபாடுகளையும் கொண்டவை.

சூரிய நிறமாலே (Solar Spectrum)

சூரியனுடைய ஒளிக்கதிர்களை ஒரு நிறமாலேமானியின் வழியாகச் செலுத்தி அதனால் கிடைக்கும் நிறமாலேயில் பல குறுகிய இருண்ட வரிகள் அந் நிறமாலே முழுவதும் பரவிக்கிடப்பதைக் காணலாம். இதனை முதன் முதலில் வாலஸ்டன் (Wallastan) என்பவர் கண்டார். பின்னர் 1814-ல் ஃப்ரான்ஹோபர் (Fraunhofer) ஏறத்தாழ 600-க்கு மேற்பட்ட வரிகள் இருப்பனவாகக் கணக்கிட்டார். இவற்றில் 324 வரிகளின் அலை நீளங்களை அளந்து அவ்வரிகள் நிறமாலேயில் எப்பொழுதும் ஒரே நிலேயான இடத்திலமைந்திருக்குமெனக் கண்டுபிடித்தார். இந்த வரிகள் அவர் நினைவாக ஃப்ரான்ஹோபர் வரிகள் எனப்படும். இந்த வரிகளை அவர் முதலில் A, B, C, D, E, F, G மற்றும் H வரிகள் எனக் குறிப்பிட்டார் இவற்றில் D வரி சோடியமும், C மற்றும் F வரிகள் ஹைடிரஜனும் வெளியிடும் வரிகளாகும்.

மேலே குறிப்பிட்ட வரிகள் தோன்றுவதற்கான விளக்கங்களை முதலில் புன்ஸன் (Bunsen), மற்றும் கிர்க்காப் (Kirchoff) என்பவர்கள் வெளியிட்டார்கள். சூரியனின் மையப்பகுதியான, மிக உயர்ந்த வெப்பநிலேயிலுள்ள ஒளி மண்டலம் (photosphere) ஒரு தொடர் நிறமாலேயை வெளியிடுகிறது. சூரியனின் இம் மையப் பகுதியைச் சுற்றிப் பல வகையான ஆவிகளும், வாயுக்களும் சூழப்பட்ட நிறமண்டலம் (Chromosphere) உள்ளது. இது மையப் பகுதியை விடக் குறைந்த வெப்பநிலேயிலிருக்கும். சூரியனின் மையப்பகுதி வெளியிடும் ஒளி வெப்பம் குறைந்த இந்நிறமண்டலத்தின் வழி கடக்கும் போது அதிலுள்ள ஆவிகளும் வாயுக்களும் அவற்றிற்குரிய அதிக வெப்பநிலேயில் தாங்கள் வெளியிடக் கூடிய அலை நீள ஒளிகளை உட்கவர்ந்து விடுகின்றன. எனவே, சூரியனுடைய நிறமாலேயில் இந்த அலை நீளங்களுக்கான ஒளிவரிகள் காணப்படாமல் இருண்ட வரிகள் காணப்படுகின்றன. இந்த வரிகளின் அலை நீளங்கள் எந்தெந்தப் பொருளுக்குரியன என்று கண்டு, இத்தகைய பொருள்கள் சூரியனின் நிறமண்டலத்தி

லிருக்கின்றன என்றும் கண்டுள்ளார்கள். இவ்வாறு சூரிய நிறமாலையில் காணும் இருள் வரிகளை, தனிமங்கள் வெளியிடும் நிறமாலை நிறவரிகளுடன் ஒப்பிட்டுச் சூரிய நிறமண்டலத்தில் என்னென்ன தனிமங்களுள்ளன என்று அறியலாம். இந்த முறையில் சூரிய நிற மண்டலத்தில் 60 தனிமங்கள் வரை இருப்பதாகக் கண்டு பிடிக்கப்பட்டுள்ளன.

கீழ்வரும் பட்டியலில் முக்கிய ஃப்ரான்ஹோபர் வரிகளும், அவற்றின் அலை நீளங்களும் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. இதில் அலை நீளங்கள் ஆங்ஸ்ட்ராம் அலகில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

நிறமாலையில் பயன்படும் மற்ற அலகுகள் வருமாறு :

1 ஆங்ஸ்ட்ராம் அலகு = 10^{-8} செ. மீ

ஒரு மைக்ரான் ($1\ \mu$) = 10^{-4} செ. மீ

ஒரு மில்லி மைக்ரான் ($1\ m\mu$) = 10^{-7} செ. மீ.

$1\ m\mu = 10$ ஆ. அலகு.

சில ஃப்ரான்ஹோபர் வரிகளின் அலை நீளங்கள் :

வரி	உட்கவரும் தனிமம்	அலை நீளம் (ஆ. அலகு.)
A	ஆக்ஸிஜன்	7661
B	ஆக்ஸிஜன்	6867
C	H (α)	6563
D	Na	5896
		5890
E	Fe	5270
F	H (β)	4861
f	H (γ)	4340
G	Fe	4308
H	Ca	3968

சூரிய ஒளியின் நிறமாலையினைக் கொண்டு சூரியனைப் பற்றி அறிவதைப் போல மற்ற விண் மீன்கள், கோள்கள், இவற்றிலிருந்து வரும் ஒளியின் நிறமாலையினைக் கொண்டு அவற்றின் நிலைகள், தன்மைகள் முதலியவற்றையும் அறியலாம்.

நிறமாலை வரிசைகள் (Spectral series)

ஒவ்வொரு தனிமமும் கிளர்ச்சியுற்றுல் பல நிறமாலை வரிகளைத் தோற்றுவிக்கின்றன. தொடக்க காலத்தில் இவ்வரிகள் அவற்றை வெளியிடும் பொருள்களின் அணுக்களின் பல வகைக் கதிர்களால் ஏற்படுவதாதாகக் கருதப்பட்டது. எனவே, விஞ்ஞானிகளை அணுக்களின் பலவகை அதிர்வுகளுக்கும் அந் நிறமாலை வரிகளின் அலை நீளங்கள் அல்லது அதிர்வெண்களுக்குமிடையில் ஒரு கணித முறையிலான சமன்பாட்டைக் காண முயன்றுர்கள். இறுதியாக இந்த முயற்சியின் காரணமாக பால்மர் (Balmer) என்பவர் ஹைட்ரஜன் வாயு (Hydrogen) தோற்றுவிக்கும் நிறமாலையின் வரிகளுக்கு அனுபவமுறையில் ஒரு சமன்பாடு வெளியிட்டார். அதன் படி ஹைடிரஜன் நிறமாலையில் ஒரு வரிசை வரிகளின் அலை நீளங்களை

$$\lambda = 3645 \cdot 5 \frac{n^2}{n^2 - 4}$$

என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம். இதில் n-ன் மதிப்பு 3, 4, 5 என்று முழு எண் மதிப்புகளைப் பெறும். இதனை அலை எண்களால் குறிப்பிட்டால்

$$\gamma = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \text{ ஆகும்.}$$

இதில் $\left(\gamma = \dfrac{1}{\lambda} \right)$, மற்றும் R ரெட்பெர்க் மாறிலி (Redberg's constant). இதில் n-க்கு 2 ஐ விடக் கூடுதலான 3, 4, 5. என்ற முழு எண் மதிப்புகளைப் பொருத்தும் பொழுது, அவை ஹைட்ரஜனுலான நிறமாலையின் கண்ணுறு பகுதியில் காணப் பெறும் சிவப்பு, நீலம், மற்றும் ஊதா வரிகளின் அதிர்வெண்களைக் குறிக்கின்றன. இந்தச் சமன்பாட்டின் n-ன் மதிப்பினை 3 முதல் ஈறிலி (Infinity) வரை அதிகரித்தால், எண்ணிலா வரிகளைப் பெறக்கூடும் என்றுகும். ஆனுல், n-ன் மதிப்பு அதிகரிக்க அதிகரிக்க வரிகள் ஒன்றுடன் ஒன்று நெருங்கி ($n = \infty$ ஆகையால்) இணைந்து விடுகின்றன. இது அந்த வரிசையின் முகப்பாகும். $n = 3$ என்று குறிப்பிடும்போது, அந்த வரிசையின் முதல் வரியைப் பெறுகிரேம். பால்மர் வரிசையின் முகப்பு அதிர் வெண் $\gamma = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{\infty^2} \right)$ அல்லது $\frac{R}{4}$ ஆகும்.

பின்னர் ஹைடிரஜன் நிறமாலையின் மற்ற வரிகளுக்கான சமன்பாடுகளும் விஞ்ஞானிகள் பலரால் வெளியிடப்பட்டன. ஹைடிரஜன் நிறமாலையில் வெளிப்புற ஊதாப் பகுதியில் தோன்றும் வரிசைக்கான சமன்பாட்டை லைமன் (Lyman) என்பவர் வெளியிட்டார்.

இதனை $\gamma = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right)$ என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம். இதில் n-ன் மதிப்பு 1 ஐ விட அதிகமான முழு எண்ணுலானது.

பேஷன் (Paschen) என்பவர் புறச்சிவப்புப் பகுதி வரிசைக்கான சமன்பாட்டை $n = 3$-க்கு மேற்பட்ட முழு எண்களாகக் கொண்டு. $\gamma = R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right)$ என்று கணித்தார்.

பிராக்கெட் (Bracket) என்பவர் புறச்சிவப்பின் மற்றொரு வரிசையின் $n = 4$-க்கு மேற்பட்ட முழு எண்களெனக் கொண்டு

$$\gamma = R\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$ என்ற சமன்பாட்டால்

குறித்தார்.

மேலே குறிப்பிட்ட எல்லாவகை வரிசைகளையும்

$$\gamma = R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

என்ற ஒரு பொதுவான சமன்பாட்டினுல் குறிக்கலாம். இதில் R-ன் மதிப்பு 109678 செ.மீ. ஆகும். மற்றும் $m = 1, n = 2, 3, 4$ என்ற முழு எண்களால் குறிப்பிடும்போது லைமன் வரிசையினையும், $m = 2$ மற்றும் n 3, 4, 5 என்ற முழு எண்களால் குறிக்கும் போது பால்மர் வரிசையினையும், $m = 3, n = 4, 5$ என்றும், $m = 4, n = 5, 6$ என்றும் கொள்ளும் பொழுது முறையே பாஷன், பிராக்கெட் வரிசைகளையும் குறிக்கும்.

ஹைடிரஜனைத் தவிர மற்றத் தனிமங்களும், பல்வேறு நிறமாலை வரிசைகளைத் தருகின்றன. இந் நிறமாலை வரிசைகளை ரெட்பர்க் என்பார்

$$\gamma_n = A - \frac{R}{(n + \mu)^2}$$

என்ற சமன்பாட்டால் குறிப்பிட்டார். A ஒவ்வொரு வரிசைக்கும் ஒரு மதிப்புடைய ஒரு மாறிலி. இஃது அந்த வரிசையின் முகப்பாகும். (ரெட்பர்க் மாறிலி, n-ன் மதிப்பு தொடர்ந்த முழு எண்களால் குறிக்கப்படும். μ தசம எண்.

போரின் ஹைடிரஜன் நிறமாலை விளக்கம் (Bohr's explanation of Hydrogen spectrum)

ஹைடிரஜனின் நிறமாலை வரிகளுக்குக் கணித முறையிலான ஒரு சமன்பாட்டை அனுபவ முறையில்தான் மேற் குறிப்பிட்ட விஞ்ஞானிகள் வெளியிட்டார்களேயன்றி, அவ்வரிகள் எவ்வாறு ஏற்படுகின்றன என்பதற்குக் கொள்கையளவிலான விளக்கங்களை அவர்களால் அறிய முடியவில்லை. முதுபழங் கொள்கை (classical theory) அடிப்படையில் இதற்கான விளக்கத்தை அறிய முயன்ற அனைவரும் தோல்வியே கண்டனர். இயற்பியல் துறையில் புரட்சியைத் தோற்றுவித்த பிளாங்க்கின் குவாண்டம் கொள்கை (Plank's Quantum Theory) யையும், ருதர்ஃபோர்டு (Rutherford) வெளியிட்ட அணுவின் அமைப்பினையும் இணைத்து நீல் போர் (Niels Bohr) என்ற விஞ்ஞானி 1913ஆம் ஆண்டில் ஹைடிரஜன் நிறமாலை வரிகள் தோன்றும் முறையினை விளக்கினார். அவர் வெளியிட்ட அணு அமைப்பு முறைக்காக அவருக்கு 1922ஆம் ஆண்டின் இயற்பியல் துறை நோபல் பரிசு வழங்கப்பட்டது.

ஹைடிரஜன் அணு அதனுள் மையத்தில் நேர்மின்னேட்டமுள்ள (positive charge) அணுக் கருவையும், அதனைச் சுற்றிவரும் எதிர்மின்னேட்டமுள்ள (negative charge) எலக்ட்ரானையும் கொண்டது என்ற ருதர்போர்டின் கொள்கையைப் போர் ஏற்றுக் கொண்டார். ஆனால், முதுபழங் கொள்கை கூறியபடி எலக்ட்ரான் எல்லா வட்டப் பாதையிலும் சுற்றும் என்ற கொள்கையை மறுத்து எலக்ட்ரானின் கோண உந்த மதிப்புகள் (angular momentum) $\frac{h}{2\pi}$ -ன் முழு எண் மடக்கைகளாக (int geral multiple) அமையக் கூடிய வட்டப் பாதைகளில் மட்டுமே அவ்வெலக்ட்ரான் சுற்றிவர இயலும் என மாற்றினர் (இதில் h பிளாங்க் மாறிலி). இந்தக்கொள்கையின் அடிப்படையில் ஹைடிரஜன் அணுவின் எலக்ட்ரானுக்கான வீதிப்பாதை (orbit) யினைக் கணிக்கலாம்.

அணுக்கருவின் மின்னேட்டம் $= Ze$

எலக்ட்ரானின் மின்னேட்டம் $= e$

எலக்ட்ரானின் நிறை $= m$

எலக்ட்ரான் 'n' எண்ணுடைய வீதிப்பாதையிலிருப்பதாகக் கொண்டால், அப் பாதையின் ஆரம் = γ_n.

எலக்ட்ரானுக்கும், அணுக்கருவிற்கு மிடையிலேற்படும் நிலையின் ஈர்ப்பு விசை $= \dfrac{Z\,e\cdot e}{\gamma\,n^2} = \dfrac{Ze^2}{\gamma\,n^2}$

எலக்ட்ரான் வீதிப்பாதையில் சுற்றும் திசைவேகம் = v

அதன் மைய விலக்கு விசை (centrifugal force) $= \dfrac{m\,v^2}{\gamma_n}$

அதே பாதையில் சுற்று வரையில்

$$\frac{Z\,e^2}{\gamma_n^2} = \frac{m\,v^2}{\gamma_n} \qquad \dots\ \dots\ (1)$$

$$\text{அல்லது } v^2 = \frac{Z\,e^2}{m\,\gamma_n} \qquad \dots\ \dots\ (2)$$

γ_n ஆரமுடைய வீதிப்பாதையில் v திசை வேகத்தில் இயங்கும் ஓர் எலக்ட்ரானின் கோண உந்தம் = $mv\gamma_n$ ஆனால், போரின் தற்கோளின்படி (Postulate)

$$mv\gamma_n = n\,\frac{h}{2\pi} \qquad \dots\ \dots\ (3)$$

இதில் $n = 1, 2, 3$ அல்லது 4 என்ற முழு எண்.

$$v = n\,\frac{h}{2\pi}\cdot\frac{1}{m\gamma_n}$$

$$v^2 = \frac{n^2\,h^2}{4\pi^2\,m^2\,\gamma_n^2} \qquad \dots\ \dots\ (4)$$

சமன்பாடு 2 ஐயும் 4ஐயும் இணைத்தால்

$$\frac{Z\,e^2}{m\,\gamma_n} = \frac{n^2\,h^2}{4\pi^2\,m^2\,\gamma_n^2}$$

$$\gamma_n = \frac{n^2\,h^2}{4\pi^2\,mZe^2} \qquad \dots\ \dots\ (5)$$

எனவே, வீதிப்பாதையின் ஆரம் γ_n, n-ன் இருபடிக்கு நேர் வீதத்திலிருக்கும் ($n = 1, 2, 3$ போன்ற முழு எண் மதிப்புகளை மட்டுமே ஏற்கும்). மேலும், சமன்பாடு 5-ல் மற்ற உறுப்புகள்

அனைத்தும் மாறிலி. இந்த வீதிப்பாதைகளின் ஆற்றல்நிலை அவற்றின் நிலையாற்றல். மற்றும் இயக்க ஆற்றலின் கூடுதலாகும்.

ஓர் எலக்ட்ரானின் இயக்க ஆற்றல் $= \frac{1}{2} mu^2$

$$= \frac{1}{2} \frac{Ze^2}{\gamma_n} \text{ (சமன்பாடு 1-ன் படி)}$$

இதில் Z ஹைடிரஜன் அணு எண். அதன் மதிப்பு 1 ஆகும். எனவே,

$$\text{இயக்க ஆற்றல்} = \frac{1}{2} \frac{e^2}{\gamma_n} \quad \dots \dots (6)$$

γ_n ஆரமுள்ள வீதிப்பாதையிலுள்ள எலக்ட்ரானின் இயக்க ஆற்றல்

$$= -\frac{e^2}{\gamma_n} \quad \dots \dots (7)$$

$$\text{கூடுதல் ஆற்றல் } E_n = -\frac{e^2}{\gamma_n} + \frac{e^2}{2\gamma_n}$$

$$= -\frac{e^2}{Z\gamma_n} \quad \dots \dots (8)$$

ஆற்றல் வேறுபாடு கதிர்வீச்சுகள் அல்லது உட்கவர்தல்கள்

$$h\gamma = E_{n_1} - E_{n_2} \quad \dots \dots (9)$$

என்ற சமன்பாட்டிற்கு ஏற்ப நிகழும். இதில் γ கதிர்வீச்சின் அதிர்வெண் E_n; மற்றும் E_m, n_1, n_2 வீதிப்பாதைகளின் ஆற்றல் அளவு. இவ்வாற்றல் மதிப்புகளைச் சமன்பாடுகளிலிருந்து 9-ல் பொருத்தினால்

$$h\gamma = \frac{2\pi^2 me^4}{h^2} \left\{ \frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right\}$$

$$\gamma = \frac{2\pi^2 me^4}{h^3} \left[\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right] \quad \dots \dots (10)$$

γ^1 ஐ அலை எண்ணாகக் கொண்டால் $\gamma^1 = \frac{1}{\lambda} = \frac{\gamma}{C}$

$$\gamma^1 = \frac{2\pi^2 me^4}{Ch^3} \left[\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right] \quad \dots \dots (11)$$

$\frac{2\pi^2 me^4}{Ch^3} = R$ என்று கொண்டால்

$$\gamma^1 = R \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right) \text{ என்றாகும்.}$$

இந்தச் சமன்பாடு ஹைட்ரஜன் நிறமாலை வரிகளுக்கான அனுபவமுறைச் சமன்பாட்டை ஒத்திருப்பதைக் காணலாம். மேலும் e, m, c, h இவற்றின் மதிப்புகளைப் பொருத்திக் கணக்கிட்டால் R-ன் மதிப்பு 109700^{-1} செ. மீ. என்றாகிறது. இந்த மதிப்பு ரெட்பர்க் மாறிலியின் மதிப்பாகும். ஹைடிரஜன் நிறமாலைக்குப் போர் வெளியிட்ட இந்த விளக்கத்தினைக் கொண்டு நாம் முன்பு கொண்ட பல்வகை வரிசைகளையும் பெறமுடியும்.

சமன்பாடு 11-ல் $n_2 = 1$ மற்றும் $n_1 = 2, 3, 4$ என்ற மதிப்புகள்அளித்தால் லைமன் வரிசையினைப் பெறலாம்.

$n_2 = 2$ மற்றும் $n_1 = 3, 4, 5$ ...... என்ற மதிப்புக்கள் பால்மர் வரிசையினைக் குறிக்கும். இதே முறையில் $n_2 = 3$, $n_1 = 4, 5, 6$ என்ற மதிப்புகளும், $n_2 = 4$, $n_1 = 5, 6, 7$ என்ற மதிப்புகளும் முறையே பேஷன் மற்றும், பிராக்கெட் வரிசைகளைக் கொடுக்கும்.

2. டாப்லர் விளைவு

(Doppler Effect)

ஒலியியலில் ஒளிமூலமோ, அதனைக் கேட்பவரோ அல்லது இருவருமோ ஒப்ப இயக்கம் கொண்டிருந்தால் அந்த ஒலியின் சுருதியில் ஒரு மாற்றம் ஏற்படுவதை உணரலாம், இது 'டாப்லர் விளைவு' எனப்படும். இந்த விளைவு அலைகளின் மூலம் பரவுகின்ற எல்லா இயக்கங்களுக்கும் பொதுவானதால், இத்தகைய விளைவு ஒளியிலும் நிகழ்கிறது. ஆனால், இதனை ஒளிமூலம், காண்பவர் அல்லது இவர்களுக் கிடையேயுள்ள ஒப்பவேகம் ஒளியின் வேகத்துடன் ஒப்பிடும் நிலையிலிருந்தால் மட்டுமே கண்டு கொள்ள முடியும். இத்தகைய ஒளிமூலங்களைக் கொண்டு ஏற்படும் நிறமாலையிலுள்ள ஒவ்வொரு வரியும் அதன் அலை நீளத்தில் மாற்றமடைகிறது.

ஓர் ஒளிமூலம் தோற்றுவிக்கும் அலைகள் ஒரு வினாடிக்கு f எனக் கொள்வோம். இது அதனுடைய அதிர்வெண்ணாகும். ஒளியின் வேகம் c எனக் கொள்வோம். ஒளி மூலம் v திசை வேகத்தில் காண்பவரை நோக்கி நகருவதாகக் கொள்வோம். ஒரு வினாடியின் மூலம் தோற்றுவிக்கும் அலைகள் $c-v$ இடத்தினுள் குவிக்கப்படும். எனவே, அதன் அலை நீளம்,

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ -லிருந்து } \lambda' = \frac{c-v}{f}$$

என்றும் மாறும். இதனால் காணும் அதிர்வெண்

மாருக மூலம் காண்பவரிடமிருந்து விலகிச் செல்வதாகக் கொண்டால்

$$f' = f \frac{c}{c+v} \text{ என்றுகும்} \qquad \dots \dots (2)$$

பொதுவாக இரண்டையும் இணைத்து

$$f' = f \frac{c}{c \mp v}$$

$$= \frac{f}{\frac{c \mp v}{c}}$$

$$= f. \frac{1}{\left(1 \mp \frac{v}{c}\right)}$$

$$= f. \left(1 \mp \frac{v}{c}\right)^{-1} \qquad \dots \dots (3)$$

என்று எழுதலாம்.

மூலத்திற்குப் பதில் காண்பவர் நகர்வதாகக் கொண்டால்,

அதிர்வெண் $f' = f\left(1 \pm \frac{v}{c}\right) \qquad \dots \dots (4)$

என்றுகும். ஒளியைப் பொறுத்தமட்டில் இரண்டிற்கும் வேறுபாடு இல்லை. இந்த வேறுபாடு அலை பரவும் ஊடகம் இருப்பதாகக் கொள்வதால் வருவதாகும். ஆனுல், ஒளி பரவுவதற்கு இத்தகைய ஊடகம் இல்லை என்பது உறுதி செய்யப்பட்டுள்ளது.

சமன்பாடு 3 ஐ விரித்து எழுதினுல்

$$f' = f\left(1 \pm \frac{v}{c} \pm \frac{v^2}{c^2} \pm \frac{v^3}{c^3} \pm \dots\right)$$

ஆனுல் $\frac{v^2}{c^2}$ மாற்று $\frac{v^3}{c^3}$ இவற்றினை விடுத்தால்

$$\therefore f' = f\left(1 \pm \frac{v}{c}\right) \text{ என்றுகும்.}$$

மாறிய அலைநீளம் λ^1 என்று கொண்டால்

$$\frac{\lambda^1}{\lambda} = \frac{c}{f\left(\left(1 \pm \frac{v}{c}\right)\right.} \cdot \frac{f}{c}$$

$$= \frac{1}{\left(1 \pm \frac{v}{c}\right)}$$

$$\frac{\lambda^1 - \lambda}{\lambda} = \frac{d\lambda}{\lambda} = \mp \frac{v}{c} \text{ ஆகும்}$$

அல்லது $d\lambda = \mp \frac{v}{c} \lambda$ ஆகும் ... ... (5)

இந்த அலைநீள மாறுபாடு டாப்லர் பெயர்ச்சி (Doppler shift) எனப்படும். இதனை ஒளி மூலம் காண்பவரை நோக்கி அல்லது காண்பவரிடமிருந்து விலகிச் செல்லுவதற்கேற்ப

$d\lambda = -\frac{v}{c}\lambda$ அல்லது $+\frac{v}{c}\lambda$ என்றாகும்.

எனவே, ஒரு நிறமாலையைத் தோற்றுவிக்கும் ஒளிமூலம் நிலையாக இல்லாமல் நகருமானால், அந் நிறமாலை வரிகள் தம் இயல்பு நிலையிலிருந்து விலகிக் காணப்படும். ஒளிமூலம் காண்பவரை நோக்கி நகரும்போது இப் பெயர்ச்சி குறைந்த அலைநீளப் பகுதிக்கு ஊதா நிறப்பக்கம் நகர்ந்திருக்கும். இது ஊதாப் பெயர்ச்சி (violet shift) எனப்படும். மாறாக, மூலம் காண்பவரிடமிருந்து விலகிச் சென்றால் இப்பெயர்ச்சி உயர்ந்த அலைநீளப் பகுதியை—சிவப்புப் பகுதியை—நோக்கி இருக்கும். இது சிவப்புப் பெயர்ச்சி எனப்படும். மூலம் காண்பவரின் பார்வைத் திசைக்கு நேர்குத்துத் திசையில் நகர்ந்தால் இத்தகைய இடப் பெயர்ச்சிகள் தோன்றா.

இந்த டாப்லர் விளைவைப் பயன்படுத்தி விண்வெளியிலுள்ள கோள்கள், மற்றும் விண்மீன்கள் இவற்றின் இயக்கங்களை நாமும் அறியலாம். எடுத்துக்காட்டாக ஒரு கோளிலிருந்து வரும் ஒளியைக் கொண்டு பெறும் நிறமாலையையும், அதே நிறமாலை வரிகளைக் கொடுக்கும் பூமியிலுள்ள பொருள்களின் நிறமாலையையும் ஒன்றோடொன்று மேற் பொருந்துமாறு அல்லது அருகருகே அமையுமாறு ஏற்படுத்தினால், விண்வெளிக் கோள்களின் நிறமாலை வரிகள் அதனை ஒத்த நிறமாலை வரியிலிருந்து ஊதாப் பெயர்ச்சி அடைந்

திருந்தால், கோள் பூமியை நோக்கி நகருவதாகவும், சிவப்புப் பெயர்ச்சி அடைந்திருந்தால் பூமியிலிருந்து விலகிச் செல்வதாகவும் அறியலாம்.

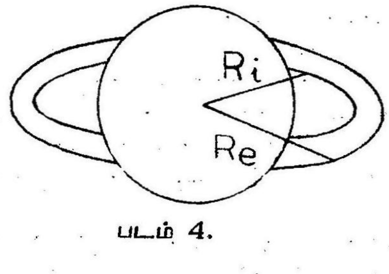
டாப்லர் விளைவின் பயன்கள்

(1) சூரியனின் கோண இயக்கம்

ஒரு நிறமாலை மானியின் பிளவைச் சூரியனின் முதலில் கிழக்கு விளிம்பை நோக்கச் செய்து நிறமாலையினைப் பெறவேண்டும். பின்னர் மேற்கு விளிம்பை நோக்கச் செய்து நிறமாலையைப் பெற்றால், இவ்விரு நிறமாலைகளின் ஃப்ரான்ஹோபர் வரிகளும் நிறமாலையில் ஒரே இடங்களில் நிலை கொண்டிருப்பதில்லை. மேற்குப் பகுதியின் நிறமாலை வரிகள் கிழக்குப் பகுதி வரிகளைப் பார்க்க ஊதாப் பெயர்ச்சி அடைந்திருப்பதைக் காணலாம். இதிலிருந்து சூரியன் மேற்கிலிருந்து கிழக்காகத் தன் சுழற்சி பெற்றிருக்கிறது என்று அறியலாம். மாறாக சூரியனின் மேல் விளிம்பு நிறமாலையும் கீழ் விளிம்பு நிறமாலையும் இத்தகைய பெயர்ச்சிகளைக் காட்டுவதில்லை.

(2) சனிக்கோளின் வளையம்

சனிக் கோளைச் சுற்றி ஒரு தட்டையான வளையமிருப்பதைத் தொலை நோக்கிகள் காட்டுகின்றன. டாப்லர் விளைவைப் பயன்படுத்தி இந்த வளையம் ஒரே தட்டைப்போன்ற வளையமா அல்லது சனியின் துணைக்கோள் கூட்டங்களாலானதா என்பதைக் கண்டுள்ளார்கள்.



படம் 4.

ஒரே வளையத் தட்டாக இருந்தால் அத் தட்டின் வெளிவிளிம்பு உள் விளிம்பைவிட அதிக வேகத்துடன் நகரும். R_e மற்றும் R_i அத் தட்டின் வெளி, உள் ஆரங்களானால் அதன் கோணத் திசை வேகம் ω ஆனால் வெளி, உள் விளிம்புகளின் வேகங்கள் முறையே

$$v_i{}^2 = R_i\,\omega$$

$$v_e = R_e\,\omega$$ என்றாகும்.

$R_e > R_i$ ஆதலால் $v_e > v_i$ ஆகும்.

மாருக, இவ் வளையம் தனித்தனி துணைக் கோள்களானுல் துணைக் கோளின் இயக்கம் நடைபெற

$$\frac{GMm}{R^2} = \frac{mv^2}{R}$$

$$\text{அல்லது } v^2 = \frac{GM}{R}$$

என்ற சமன்பாட்டிற்கு ஏற்ப அமையவேண்டும். இதில் v துணைக் கோளின் வேகம், G, ஈர்ப்பு மாறிலி, M கோளின் நிறை, R மையத்திலிருந்து துணைக் கோளின் தொலைவு, இதன்படி R அதிகமானுல் v குறைகிறது. அல்லது வளையத்தின் உள் பகுதியின் வேகம் வெளிப்பகுதியின் வேகத்தைவிட அதிகமாகும். நிறமாலைமானியினை முறையே வளையத்தின் உள், வெளி விளிம்புகளை நோக்கச் செய்து நிறமாலை வரிகளைப் பெற்றதில் உள் விளிம்பு நிறமாலை அதிகப் பெயர்ச்சியினைக் காட்டி, உள் விளிம்பின் வேகம் வெளி விளிம்பின் வேகத்தை விட அதிகம் என்று காட்டியது. இதனின்று சனிக்கோளின் வளையம் தனித்தனி துணைக் கோளின் கூட்டங்களால் ஆனது என்று உறுதியாகிறது.

(3) இரட்டை விண் மீன்களின் கண்டுபிடிப்பு

சாதாரணமாக ஒன்ருகத் தெரிகின்ற விண்மீன்கள் உண்மையில் இரட்டைகளாக உள்ளன. இவை ஒன்றை யொன்று மையமாகக் கொண்டு சுழல்கின்றன. ஒன்று பூமியை நோக்கி நகரும் பொழுது, மற்ருென்று பூமியிலிருந்து விலகிச் செல்கிறது. இவ்வாறு ஒன்றையொன்று விலகிச் செல்லும்போது இவ்விண்மீன்களின் நிறமாலை வரிகள் பெயர்ச்சிகளைக் காட்டும். ஆனுல், சில இரவுகளில் ஒன்றின் பின்னுல் மற்ருென்று மறைந் திருக்கையில் அவற்றின் நிறமாலை வரிகள் ஒன்றித் தோன்றும். பின்னர் சில இரவுகளுக்குப் பின் ஒன்று பூமியை நோக்கியும், மற்ருென்று பூமியிலிருந்து விலகியும் செல்லும். நிறமாலை வரிகளின் பெயர்ச்சி முன் இருந்ததற்கு எதிர்ப்பக்கமிருக்கும். இந்த முறையில் பல விண்மீன்க்ள் இரட்டைகளாக உள்ளமை தெரியவந்துள்ளது.

(4) பேரண்டப் பெருக்கம் (Expanding Universe)

எட்வின் ஹூபில் (Edwin Hubble) என்பவர் 1920 ஆம் ஆண்டில் இப் பேரண்டத்திலிருந்து வரும் ஒளியின் நிறமாலையில் வரிகள் சிவப்பு நிறப்பக்கம் பெயர்ச்சி அடைந்திருப்பதைக்

கண்டார். 'இது சிவப்புப் பெயர்ச்சி' எனப்படும். இந்த நிறமாலை வரிகள் அண்டத்திலுள்ள பல்லாயிரக் கணக்கான சூரியன்களின் ஒளியினால் ஏற்படுவதாகும். எனவே இந்தச் 'சிவப்புப் பெயர்ச்சி' இச் சூரியன்களைக் கொண்டிருக்கும் அண்டம் விலகிச் செல்வதாகக் காட்டுகிறது. நம்முடைய பூமி உள்ளிட்ட சூரிய குடும்பமும் அந்த அண்டத்தில் ஒரு விண்மீனாகும். எனவே, மற்ற சூரியன்கள் இந்தச் சூரியனிலிருந்து விலகிச் செல்வதென்பது, அண்ட முழுவதும் விரிவடைவதைக் காட்டுகிறது. இதனைப் 'பேரண்டப் பெருக்கம்' (Expanding Universe) என்பர்.

(5) நிறமாலை வரிகளின் அகலம் (Broading of the spectral lines)

இயல்பாக நிறமாலை வரிகள் அணுக்களின் ஆற்றல் நிலை மாறுபாட்டால் ஏற்படுவதாகும். அணுக்கள் கிளர்ச்சியுற்ற நிலையிலிருந்து இயல்பு நிலைக்கு மீறும்போது நிறமாலை வரிகளைத் தோற்றுவிக்கும். கிளர்ச்சி நிலைக்கும் இயல்பு நிலைக்குமிடையிலுள்ள ஆற்றல் வேறுபாடு நிறமாலை வரிகளாகத் தோன்றுகின்றன. இந் நிலையில் நிறமாலையின் வரிகள் குறிப்பிட்ட அலைநீளத்திற்குரிய மெல்லிய வரியாகத்தான் இருக்கவேண்டும் ஆனால், இவ்வரிகள் குறிப்பிட்ட அகலம் கொண்டுள்ளன. மைக்கல்ஸன் (Michelson) என்பவர் இந்த வரிகள் டாப்லர் விளைவின் காரணமாகவே அகன்றிருப்பதாகத் தெரிவித்தார். இந் நிறமாலையினைத் தோற்றுவிக்கும் வாயுக்களின் அணுக்கள் நிலையாகயில்லாமல், பல்வேறு திசைகளிலும் இயங்கிக் கொண்டிருக்கும். நிறமாலைமானியை நோக்கி நகரும் அணுக்கள் தோற்றுவிக்கும் அலைநீளங்கள் நிலை அணுத் தோற்றுவிக்கும் அலை நீளத்தைவிட $\lambda\left(1-\frac{u}{c}\right)$ குறைவான அலை நீளத்திலும், மானியிலிருந்து விலகிச் செல்லும் அணுக்கள் $\lambda\left(1+\frac{v}{c}\right)$ கூடுதலான அலை நீளத்தையுடைய அலைகளையும் தோற்றுவிக்கும். மேலும், எல்லா அணுக்களும் ஒரே வேகத்தில் நகராமல் பல்வேறு வேகங்களில் நகர்வதால், இவற்றிற்கிடையிலுள்ள அலைநீளங்களுடைய வரிகளும் அமையப் பெற்று நிறமாலையின் வரி ஒரு குறிப்பிட்ட அகலத்தைக் கொண்டிருக்கின்றன. வாயுக்களில் வெப்பநிலை மாற்றம், அழுத்த மாற்றம் ஏற்பட்டு அணுக்களின் வேகம் மாறுபடும்போது இவ்வரிகளின் அகலங்கள் மாறுபடுவது மேலே கூறிய விளக்கத்திற்கு ஊக்கம் அளிக்கின்றன.

3. ஒளிச் சிதறல்

(Scattering of Light)

ஒளி ஓர் ஊடகத்தின் வழிச் செல்லும்போது செல்லும் திசையி லன்றி பக்கத் திசைகளில் ஒளி பரவுவதில்லை. ஆனால், அவ்வூடகம் தொடர்பற்ற சிறுசிறு துகள்களைக் கொண்டிருந்தால், ஒளி செல்லும் திசைக்குப் பக்கத் திசைகளில் ஒளி சிதறுகிறது. இவ்வாறு ஏற்படு கின்ற ஒளிச் சிதறல்கள் ஒளி கடக்கும் ஊடகத்திலுள்ள நுண்ணிய துகள்களால் ஏற்படுகின்றன. வெள்ளை நிற ஒளி இவ்வாறு ஒளியின் அலை நீளங்களைவிடக் குறைந்த அளவீடுகளையுடைய துகள்களால் சிதறும்போது, சிதறுண்ட ஒளி நல்ல நீல நிறமாகத் தோன்றும். வெள்ளை நிற ஒளியிலுள்ள குறைந்த அலைநீள ஒளி யால் நீலமும் ஊதாவும் எளிதில் சிதறலுறுகின்றன. ஊடகத்தில் மிதக்கும் துகள்களின் பருமனளவு அதிகரிக்க அதிகரிக்க சிவப்பு நிற ஒளியும் சிதறலுறுகின்றன. இவ்வாறு நுண்ணிய துகள்கள் நீல ஒளியினைச் சிதறச் செய்கிறது என்பதனையும், அவ்வாறு ஏற்படும் சிதறல் சிதறச் செய்யும் பருமனைப் பொறுத்திருக்கு மென் பதையும் முதலில் டிண்டல் (Tyndall) என்பவர் கண்டுபிடித்தார். எனவே, அவர் நினைவாகச் சிறு துகள்களால் ஏற்படும் ஒளிச் சிதறல் 'டிண்டல் சிதறல்' (Tyndall Scattering) எனப்படும். டிண்டல் ஒருசிறு சோதனையின்மூலம் இந்த ஒளிச் சிதறலை நிரூபித்துக் காட்டினார். ஒரு கடின கண்ணாடியாலான நீண்ட கண்ணாடிக் குழாயில் அதன் நீளவாட்டத்தில் வெள்ளை நிற ஒளியினைப் புகச் செய்தார். அக் குழாயினுள் சல்பர் டை ஆக்ஸைடு (Sulphur di oxide) மற்றும் ஹைட்ரஜன் சல்பைட் (Hydrogen sulphide) இவற் றைச் செலுத்தி, அவை இணைவதின் விளைவாக கந்தகத் துகள் கூட்டத்தை உண்டாக்கினார். இந்த கந்தகத் துகள்கள் அதன் வழிச் செல்லும் ஒளிக் கற்றைகளைச் சிதறச் செய்தது. இவ் வொளிச் சிதறல்களை அக் குழாயின் குறுக்காகக் காணமுடியும். முதலில் குறைந்த செறிவுடனிருந்த சிதறிய ஒளி வரவர வலு வடைந்து, கந்தகத் துகள்களின் பருமன் அதிகரிக்க அதிகரிக்க,

நீல நிறத்தை அடைந்தது. ஆனால் அத் துகள்கள் மிகப் பெரிய தாக வளர்ந்தவுடன் ஒளிச் சிதறல் மறைந்துவிட்டது. ஒளிச் சிதறலின் அடிப்படையில் டிண்டல் வானம் நீலமாகக் தோன்று வதற்கு ஒரு விளக்கம் கொடுத்தார். பூமியின் காற்று மண்டலத்தி லுள்ள தூசுகள், மேகக் கூட்டங்கள் மற்றும் மிதக்கும் வேற்றுப் பொருள்கள் சூரிய வெள்ளை நிற ஒளியைச் சிதறச் செய்கின்றன. அவ்வாறு சிதறுண்ட ஒளி டிண்டல் சோதனையில் கண்டதுபோல நீலமாகத் தெரிகிறது. இந்த விளக்கத்தின்படி காற்று மண்டலத்தி லுள்ள தூசுபோன்ற பொருள்களை நீக்கிவிட்டால் வானம் நீலமாகத் தெரியாது என்றாகிறது. ஆனால், பூமியிலிருந்து தூசுகள் கலக்க முடியாத மிக உயர்ந்த இடத்திலிருந்தும்கூட வானம் நீலமாகத் தான் தெரிகிறது. எனவே, காற்று மண்டலத்திலுள்ள தூசுபோன்ற பொருள்களால் மட்டுமே இத்தகைய சிதறல்கள் நிகழவில்லை என்றாகின்றது. லார்டு ராலே (Lord Rayleigh) என்பவர் காற்றின் மூலக் கூறுகளே ஒளிச் சிதறல்களைத் தோற்றுவிக்கக் கூடியது என்று விளக்கினார். மேலும், அவர் இவ்வாறு சிதறிய ஒளிக் கதிர் களின் செறிவு அச் சிதறல்களைத் தோற்றுவித்த துகள்களின் பரும னளவிற்கு நேர் விதத்திலும், சிதறிய ஒளியின் அலை நீளத்தின் நான்கு மடிக்கு எதிர் விதத்திலுமிருக்குமெனக் கண்டார். இவ்வாறு சிதறிய ஒளி அதன் அலை நீளத்தில் எந்தவித மாற்றமுமடைய வில்லை. அல்லது சிதறிய ஒளியில் படும் ஒளிக் கற்றையில்லாத எந்தப் புது அலைநீள ஒளிக்கதிர்களுமில்லை. இதன் காரணமாக ராலே அல்லது டிண்டல் ஒளிச் சிதறல்கள், ஓரியல் சிதறல்கள் (Coherent scattering) எனப்படும்.

இராமன் விளைவு (Raman effect)

நாம் முன்பகுதியில் கண்ட டிண்டல், ராலே சிதறல்களிலிருந்து முற்றிலும் வேறுபட்ட ஒரு வகை ஒளிச் சிதறலை இந்திய இயற் பியல் விஞ்ஞானி ஸர் சி. வி. இராமன் 1928 ஆம் ஆண்டில் கண்டுபிடித்தார். அதனைப் பின் வருமாறு விவரிக்கலாம். ஒரு செறிவு மிகுந்த ஒற்றை நிற ஒளிக்கற்றையைத் தூசுகளற்ற பென்ஸின் (Benzene) திரவத்தின் வழியாகப் பாயச் செய்தால் ஒளிச் சிதறல் ஏற்படுகிறது, இவ்வாறு சிதறுண்ட ஒளியில், அதன் மூல ஒளி அதிர்வெண்களுடன், சில புதிய அதிர்வெண்ணு டைய (New frequency) ஒளிகளும் கிடைத்தன. இவ்வாறு மூல ஒளி மட்டுமின்றிப் புதிய அதிர்வெண்களைக் கொண்ட ஒளிகள் தோன்று கின்ற விளைவு 'இராமன் விளைவு' எனப்படும். இந்த விளைவினைக் கண்டுபிடிக்க இராமன் பயன்படுத்திய கருவிகள் மிகச் சாதாரண மானவை. ஒரு கோளவடிவ கண்ணாடிக் குடுவையிலுள்ள தூசு

களற்ற சுத்தமான பென்ஸீன் திரவத்தின் வழியாக ஒரு பாதரச வில்லிலிருந்து கிடைக்கும் நீல நிற ஒளியைப் பாயச் செய்தார். ஒளி பாயும் திசைக்கு நேர்குத்துத் திசையில், ஒரு கையடக்கமான நேர்காட்சி நிறமாலை மானியின் (Direct vision spectroscope) வழியாகச் சிதறுண்ட ஒளியை நோக்கினர். அப்பொழுது திரவத்தில் விழுந்த மூல ஒளிக்கான வரியுடன் (parent line) அதன் இரு பக்கங்களிலும் பல மங்கலான ஒளிவரிகள் காணப்பட்டன. இவ்வரிகள் திரவத்தில் விழுந்த மூல ஒளியில் காணப்படாதவை. இப்புதிய வரிகள் 'இராமன் வரிகள்' எனப்படும். மூல வரியை விடக் குறைந்த அதிர்வெண்களை அல்லது அதிக அலை நீளங்களைக் கொண்ட வரிகள் ஸ்டோக்ஸ் வரிகள் (Stoke's lines) எனப்படும். மூலவரியை விடக் கூடுதலான அதிர்வெண்கள் அல்லது குறைந்த அலைநீளங்களைக் கொண்ட வரிகள் எதிர் ஸ்டோக்ஸ் வரிகள் (Anti Stoke's lines) எனப்படும். இராமன் வரிகள் மூல வரிகளுக்கு இரு புறமும் சமச்சீராக அமைந்துள்ளன. மூலவரியின் அதிர்வெண்ணுக்கும், இராமன் வரியின் அதிர்வெண்ணுக்குமுள்ள வேறுபாடு இராமன் பெயர்ச்சி (Raman shift) எனப்படும். சிதறலேற்படுத்தும் ஒரு குறிப்பிட்ட பொருளுக்கு மூல ஒளி எந்த அதிர்வெண்ணுடையதாக இருந்தாலும், இராமன் வரிகளின் எண்ணிக்கையும், இராமன் பெயர்ச்சியும் மாறுபடுவதில்லை.

இராமன் விளைவினை முதுபழங் கொள்கையின் அடிப்படையில் விளக்க இயலாது. புதிய குவாண்டம் கொள்கையின் அடிப்படையில்தான் இதனை விளக்க இயலும். அதன்படி γ அதிர்வெண்ணுடைய ஒளிக்கற்றை ஒவ்வொன்றும் $h\gamma$ ஆற்றலுடைய போட்டான்களென்ற (photons) துகள்களாலானதாகக் கருதப்படும். இத்தகைய துகள்கள், சிதறலேற்படுத்தும் பொருளின் மூலக் கூறுகளைத் தாக்கும் பொழுது, தாக்கும் போட்டான் சேதமடையாமல் சிதறலுறலாம். அல்லது சிதறலுண்டாக்கும் மூலக் கூறுகள் தாக்கும் போட்டான்களிலிருந்து ஒரு பகுதி ஆற்றலை உட்கவர்ந்து மீதியைச் சிதறச் செய்யலாம். இப்பொழுது சிதறுண்ட ஒளி குறைந்த ஆற்றல் அல்லது அதிர்வெண்ணுடையதாக இருக்கும். அல்லது சிதறலுண்டாக்கும் மூலக் கூறுகள், தாக்கும் ஒளி போட்டான்களுக்கு ஆற்றல் அளித்து சிதறலுறும் ஒளி அதிக ஆற்றலை அல்லது அதிர்வெண்களைக் கொண்டதாகச் செய்யலாம். எனவே, நிறமாலை காட்டியின் வழி சிதறுண்ட ஒளியினைக் காணும்போது மேலே கூறியபடி, தாக்கும் ஒளியின் அதிர்வெண் கொண்ட மூலவரி, குறைந்த அதிர்வெண்களைக் கொண்ட ஸ்டோக்ஸ் வரிகள், கூடுதலான அதிர்வெண்களைக்கொண்ட எதிர் ஸ்டோக்ஸ் வரிகள் காணப்படுகின்றன

$h\gamma_i$ ஆற்றலுடைய ஓர் ஒளி போட்டான், ஒரு மூலக்கூறைத் தாக்குவதற்கு முன்னும், தாக்கிய பின்னும் அம் மூலக்கூறின் ஆற்றல் முறையே E_i, E_s என்றும், சிதறுண்ட ஒளியின் ஆற்றல் $h\gamma$ என்றும் கொண்டால்

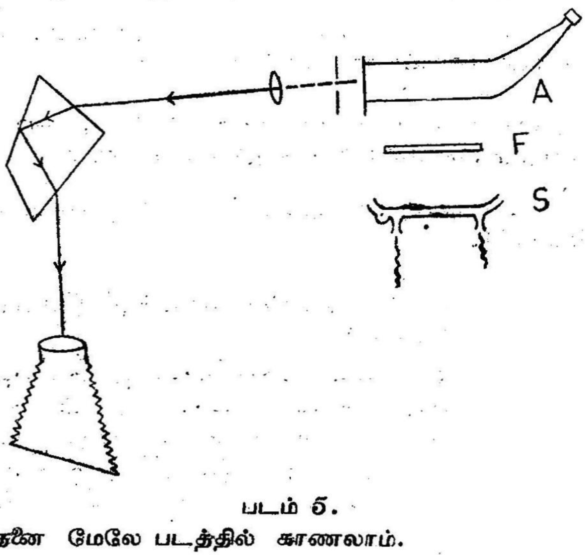
$$E_i + h\gamma_1 = E_s + h\gamma_s$$

$$\gamma_i - \gamma_s = \frac{E_s - E_i}{h}$$

என்ருகும். இதில் $E_s = E_i$ ஆனுல் $\gamma_i - \gamma_s = 0$ அல்லது $\gamma_i = \gamma_s$. இதனுல் தோன்றுவது மூலவரி $E_s > E_i$ ஆனுல், $\gamma_i > \gamma_s$, ஏற்படும் இராமன் வரி குறைந்த அதிர்வெண்ணுடைய ஸ்டோக்ஸ் வரி $E_s < E_i$ ஆனுல் $\gamma_s > \gamma_i$ ஏற்படும் இராமன் வரி அதிக அதிர்வெண்ணுடைய எதிர் ஸ்டோக்ஸ் வரி. இவ்வாறு ஒளி போட்டானும் பொருளின் மூலக் கூறும் ஒன்றையொன்று தாக்குவதால் ஏற்படுகின்ற ஆற்றல் வேறுபாடு அம் மூலக்கூறின் ஆற்றல் நிலை மாறுபாட்டைக் குறிக்க வேண்டும். எனவே, இராமன் அதிர்வெண்களைக் கணக்கிட்டு அம் மூலக்கூறுகளின் அமைப்பினை அறிய முடியும்.

இராமன் விளைவிற்கான சோதனை அமைப்பு முறை (Experimental arrangement for the study of Raman effect)

இராமன் விளைவிற்கான சோதனை அமைப்பை உட் (R. Wood) என்பவர் உருவாக்கினுர்.



படம் 5.

இதனை மேலே படத்தில் காணலாம்.

இதில் A என்பது இராமன் குழல் (Raman tube) எனப்படும். இதன் ஒரு முனை வளைந்து கூம்பு வடிவிலிருக்கும். மறுமுனை பட்டையான கண்ணாடித் தகட்டால் மூடப்பட்டிருக்கும். சோதனைப் பொருள் இதனுள் நிரப்பப்பட வேண்டும். பின் S என்ற பாதரச ஒளி வில் மூலத்தின் ஒளியினின்று F என்ற வடிப்பானின் (Filter) உதவியால் ஒற்றை நிற ஒளியினை மட்டும் இராமன் குழலில் இருக்கும் பொருளின் மீது விழச் செய்ய வேண்டும். பொருளின் மூலக்கூறுகளால் சிதறுண்ட ஒளி, குழலின் பட்டைக் கண்ணாடியின் வழியாகக் குத்துத் திசையில் வெளி வருகிறது. இவ்வொளியினை ஒரு திசையுறு நிறமாலை மானியின் வழியாகச் செலுத்தினால், ஏற்படும் நிறமாலையில் மூலவரியுடன் இராமன் வரிகளும் காணப் படும்.

இந்தச் சோதனையில் சில முக்கிய நெறிகளை நாம் கவனத்தில் கொள்ள வேண்டும்.

(1) சோதனைத் திரவம், மிதக்கும்தூசுகளற்று, காற்றுக் குமிழ்களற்ற முறையில் இருக்க வேண்டும்.

(2) ஒளி மூலத்தின் ஒற்றை நிற ஒளி பொதுவாக 4358 ஆ. அலகு அல்லது 4047 ஆ. அலகு அலை நீள ஒளியாக இருக்கும்.

(3) ஒளி மூலம் இராமன் குழலுக்கு அருகில் இருக்க வேண்டும். இதனால் இராமன் குழலிலுள்ள திரவம் வெப்பமடை வதைத் தடுக்கும் வகையில், இராமன் குழலைச் சுற்றியுள்ள வெளிப் புறக் குழலொன்றின் வழியாக நீரைப் பாய்ச்சலாம்.

(4) திசையுறு நிறமாலை காட்டியின் முப்பட்டைகள் அதிக ஒளி குவிக்கும் தன்மையுடையதாக இருக்க வேண்டும்.

(5) மேலும் அப்பட்டகம் அதிக பிரி திறன் கொண்டதாகவு மிருக்க வேண்டும்.

இராமன் விளைவும், மூலக் கூறுகளின் அமைப்பும் (Raman effect and molecular structure)

இராமன் விளைவினைப் பயன்படுத்தி மூலக்கூறுகளின் அமைப்பு முறையினை அறியலாம். இராமன் நிறமாலை வரிகள் முறையே சேய்மை, அண்மை புறச்சிவப்பு உட்கவர் (Far and near infra red absorption) நிறமாலை வரிகளை ஒத்திருக்கின்றன. இராமன் அதிர் வெண்கள், புறச்சிவப்பு உட்கவர் நிறமாலை வரிகளின் அதிர்வெண்

களைக் கொண்டிருக்கும் அல்லது அவ்வதிர் வெண்களின் வேறுபாட்டிற்குச் சமமாக இருக்கும். மேலும், புறச்சிவப்புப் பகுதியில் காணப்படும் எல்லா வரிகளும் இராமன் நிறமாலையில் காணப்படுவதில்லை. இராமன் நிறமாலை வரிகளின் செறிவு அந் நிறமாலையினைத் தோற்றுவிக்கும் மூலக்கூறுகளில் அணுக்களின் சேர்க்கையின் சீரியல்புத்தன்மையைக் குறிக்கும். பொது மையச் சீரியல்புடைய மூலக்கூறுகள், இராமன் விளைவில் தோற்றுவிக்கும் வரிகளை, புறச்சிவப்பு நிறமாலையிலும், மாறாகப் புறச்சிவப்பு நிறமாலையில் தோற்றுவிக்கும் வரிகளை இராமன் நிறமாலையிலும் தோற்றுவிக்காது என்பதைக் கணித முறையில் நிரூபித்துள்ளார்கள்.

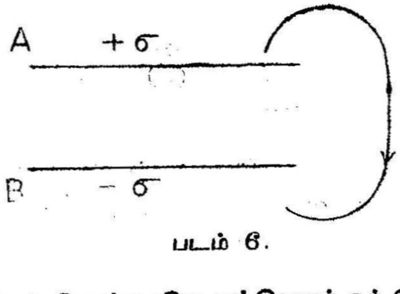
எடுத்துக்காட்டாக, Co_2 மூலக்கூறு புறச்சிவப்பு உட்கவர் நிறமாலையில் தோன்றும் 668 மற்றும் 2349 செ. மீ.க்கான இரு பட்டைகள் இராமன் நிறமாலையில் தோற்றுவிப்பதில்லை. இதேபோல் 1389 செ. மீ$^{-1}$ அலகில் தோன்றும் இராமன் நிறமாலைப் பட்டை புறச்சிவப்புப் பகுதியில் தோன்றுவதில்லை. எனவே, Co_2 மூலக்கூறு ஒரு மையச் சீரியல்புடையது. அதன் அமைப்பினை $0 = C = 0$ என்று எழுதலாம்.

4. ஒளியின் மின் காந்தக் கொள்கை

(Electro magnetic Theory of Light)

பெயர்ச்சி மின்னோட்டம் (Displacement Current)

மின்காந்தவியலின் சில அடிப்படை விதிகளை மாக்ஸ்வெல் (Maxwell) என்பவர், கணிதமுறையில் சில சமன்பாடுகளாகக் குறிப்பிட்டுக் காட்டினார். இந்தச் சமன்பாடுகள் பின் பெரும் புகழடைந்து மாக்ஸ்வெல் சமன்பாடுகள் (Maxwell's Equations) என வழங்கப்படுகின்றன. வெளியில் ஓரிடத்தில் தோன்றும் இணைந்த மின் காந்த கலக்கங்கள் (அல்லது அமைதிக் குலைவினை) அலைகளாக மற்ற பகுதிகளுக்குப் பரவும் என்பதை நிரூபித்துக் காட்டுவதற்கு இச் சமன்பாடுகள் உருவாக்கப்பட்டன. இவ்வாறு பரவுகின்ற மின்காந்த அலைகள் கொண்டிருக்க வேண்டுமென்று கணிக்கப்பட்ட திசை வேகமும் வெற்றிடத்தில் ஒளியின் திசை வேகமும் ஒன்றாக இருப்பதாகக் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. மற்றும், புறஊதா, புறச் சிவப்பு, *X*-கதிர்களுக்கான அலைகளும் இதே திசை வேகம் கொண்டிருக்கின்றன. இந்தக் கதிர்வீச்சுகளின் பண்புகளை மின்காந்தக் கொள்கை ஏற்புடைய முறையில் விளக்குகின்றது.



படம் 6.

படம் 6-ல் *A*, *B* என்ற இரு தட்டுகளும் ஓர் இணைத்தட்டு மின் தேக்கியின் இரு தட்டுக்கள். இவ்விரு தட்டுகளும், *K* மின்கடத் தாப் பொருள் மாறிலி கொண்ட (Dielectric constant) மின்கடத்

தாப் பொருளால் பிரிக்கப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். A தட்டு $+\sigma$ பரப்பு மின் அடர்த்தியும் (Surface charge density), B தட்டு $-\sigma$ பரப்பு மின் அடர்த்தியும் கொண்டிருப்பதாகக் கொள்வோம்.

ஒவ்வொரு தட்டின் பரப்பும் 'A' எனக் கொள்வோம். எனவே, ஒவ்வொரு தட்டிலுமுள்ள மின் ஊட்டம் '$A\sigma$' ஆகும். இப்பொழுது இவ்விரு தட்டுகளையும் ஒரு "கடத்திக் கம்பி"யால் (Conducting wire) இணைத்தால் கம்பியின் வழியாக மின் ஓட்டம் நிகழும். இந்த மின் ஓட்டத்தின் அளவு அக் கம்பியின் வழி மின்னோட்டம் பாயும் வேகமாகும். இதனை $\frac{d}{dt}(A\sigma)$ என்று குறிக்கலாம். மின்னோட்டம் எப்பொழுதும் தொடர்பரு ஒரு சுற்றுப் பாதையில் தான் நிகழ முடியுமென்பதால், மாக்ஸ்வெல், மின் கடத்தாப் பொருள் வழியாகவும் மின்னோட்டம் பாயவேண்டும் என்று கொண்டு இவ்வாறு மின் கடத்தாப் பொருளின் வழிச் செல்லும் மின்னோட்டத்திற்குப் பெயர்ச்சி மின்னோட்டம் (Displacement current) என்று பெயரிட்டார். மின் கடத்தாப் பொருளின் மின் செறிவு (Electric Intensity) E ஆனல், இதனை $E = \frac{4\pi\sigma}{K}$ என்று எழுதலாம். அல்லது $\sigma = \frac{KE}{4\pi}$ என்ருகும். எனவே இடப் பெயர்ச்சி மின்னோட்டம்

$$= \frac{d}{dt}(A\sigma)$$

$$= \frac{d}{dt}\left(\frac{A K\vec{E}}{4\pi}\right)$$

$$= \frac{AK}{4\pi}\frac{d}{dt}(\vec{E})$$

$$\text{மின்னோட்டச் செறிவு} = \frac{1}{4\pi}\frac{d}{dt}(K\vec{E})$$

இதில் $K\vec{E}$ என்பது 'மின் பெயர்ச்சி' (Electric Displacement) எனப்படும். இதனை $\vec{D}$ என்று குறிக்கலாம். இடப் பெயர்ச்சி

மின்னேட்டச் செறிவு $= \frac{1}{4\pi} \frac{d\vec{D}}{dt}$ ... ... (1)

E வெக்டர் அளவானதால் D-ம் வெக்டர் அளவாகும்.

$A\ B$-க்கிடையிலுள்ள ஒரு புள்ளியிலுள்ள மின்னேட்ட அடர்த்தி p ஆனுல், இம் மின்னேட்டம் v திசை வேகத்தில் நகருவதாகக் கொண்டால், இதனுல் ஏற்படும் மின்னேட்டம் '$p\ v$' ஆகும். இதனுடன், $A\ B$ தட்டுகளுக்கிடையிலுள்ள மின்புலம் மாறுமானுல், ஏற்படும் பெயர்ச்சி மின்னேட்டம் $\frac{1}{4\pi} \frac{d\vec{D}}{dt}$.

எனவே, கூடுதல் மின்னேட்டச் செறிவு

$$\vec{J} = \left\{ \frac{1}{4\pi} \frac{d\vec{D}}{dt} + Pv \right\}$$ நிலை மின் அலகுகள்.

அல்லது $$\vec{J} = \frac{1}{c} \left\{ \frac{1}{4\pi} \frac{d\vec{D}}{dt} + Pv \right\}$$ மின்காந்த அலகுகள்

மாக்ஸ்வெல் சமன்பாடுகள். (Maxwell's Equations)

மின்னேட்டம் ஏற்படும் பொழுதெல்லாம். அதனுடன் ஒரு காந்தப்புலமும் தோன்றும். இந்த இரண்டிற்கும் உள்ள தொடர்பினை ஆம்பியர் விதி (Ampere's law) விளக்குகிறது. இதனைப் பின் வருமாறு கூறலாம். "மின்னேட்டத்தைத் தன்னுள் கொண்டிருக்கும் ஒரு முற்றுச் சுற்றினைச் சுற்றி, ஓரலகு காந்த முனையை எடுத்துச் செல்வதற்குச் செய்யப்படும் வேலையின் அளவு அச் சுற்றுள் அடங்கியிருக்கும் மின்னேட்டத்தைப்போல 4π மடங்காகும். இந்த விதியினை வெக்டர் கணித முறையில் (Vector mathematics) பின் வருமாறு எழுதலாம்.

$$\nabla \times \vec{H} = 4\pi \vec{J} \qquad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

ஆனுல் J-ன் மதிப்பு $\frac{1}{c}\left[\frac{1}{4\pi} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + pv \right]$ ஆகும். எனவே

$$\nabla \times \vec{H} = \frac{1}{c} \left\{ \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + 4\pi pv \right\}$$ என்றுகும்.

ஓரிடத்தில் காந்தப்புலம் மாறுபடும்பொழுது, மின்னோட்டத்தை ஏற்படுத்தும் மின்னியக்கு விசையினைத் தோற்றுவிக்கும் ஃபாரடே விதி (Faraday's law) இவ்விரண்டுக்குமிடையிலுள்ள தொடர்பினைக் கூறுகின்றது. இந்த விதியின்படி, ஒரு முற்றுச் சுற்றில் காந்தப்பாயம் மாறுபடும்பொழுது தோன்றும் மின் இயக்கு விசை அச் சுற்றில் தோன்றும் பாய மாறுபாட்டு தகவிற்கு இணையாகவும் எதிராகவும் இருக்கும் என்பது லென்ஸ் மாறு விதியாகும்.

இதனைக் கணிதமுறையில், $c \nabla \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ என்று எழுதலாம்.

இதில் E சுற்றிலுமுள்ள மின்செறிவு. B காந்தத் தூண்டல், (Magnetic Induction).

மின்னோட்டத்தைத் தன்னுள் கொண்ட ஒரு மூடிய பரப்பினில் தோன்றும் முழு நேர்குத்துத் தூண்டல் (Total normal Induction) உள்ளிருக்கும் மின்னோட்டத்தின் 4π மடங்குகளாகும். இது நிலை மின்னியலில் 'காஸ் தேற்றம்' எனப்படும். மூடிய பரப்பினுள் கொண்டிருக்கும் மின்னோட்டம் பரப்படர்த்தி P என்றும், பரப்பில் தோன்றும் மின் தூண்டல் D என்றும் கொண்டு காஸ் தேற்றத்தைக் கணித சமன்பாடாக வெக்டர் முறையில்

$$\nabla \cdot \vec{D} = 4\pi P \qquad \dots \dots \dots (3)$$

என்று எழுதலாம். இதேபோல காந்தவியலில் காஸ் தேற்றத்தினை

$$\nabla \cdot \vec{B} = 4\pi m \qquad \dots \dots \dots (4)$$

என்றும் எழுதலாம். இதில் B பரப்பில் தோன்றும் காந்தத் தூண்டல், m உள்ளடங்கிய காந்த முனை வலிமை.

நாம் மேலே கூறிய 1, 2, 3 மற்றும் 4 சமன்பாடுகளாலும் மாக்ஸ்வெல்லின் மின் காந்தப்புலச் சமன்பாடுகள் (Maxwell's equation for the electro magnetic field) எனப்படும். பொதுவாக ஒரு காந்த முனையைத் தனித்துப் பிரிக்கயியலாது. எனவே, சமன்பாடு 4-ல் $m = 0$ ஆகும். மற்றும், நாம் கவனத்தில் கொள்ளும் பகுதியில் கடத்தல் மின்னோட்டம் இல்லாவிடில் சமன்பாடு (1)-லும் 3-லும் $p=0$ என்றுகும். இவற்றைக் கருத்தில் கொண்டால், மின்காந்தப் புலச் சமன்பாடுகளை

$$\nabla \times \vec{H} = \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \qquad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (5)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{1}{c}\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (6)$$

$$\nabla \cdot D = 0 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (7)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (8)$$

என்று எழுதலாம். இந்த அமைப்பில், இச் சமன்பாடுகள் லாரண்ட்ஸ் சமன்பாடுகளென்று வழங்கப்படும்.

மின்காந்த அலையும், அதன் திசைவேகமும் (Electric magnetic wave and velocity)

சமன்பாடு 5-ன் இரு பக்கங்களையும் வெக்டரின் டெல் குறுக்குப் பெருக்கு (curl of the vector) செய்தால்

$$\nabla \times \nabla \times \vec{H} = \nabla \times \frac{1}{c}\frac{\delta \vec{D}}{\delta t}$$ என்றாகும்.

இதில் $\nabla \times$ வெளியின் வகையீட்டுச் செயலி (Differential operation of space). $\frac{\delta}{\delta t}$ காலத்தின் வகையீட்டுச் செயலி. எனவே, இவற்றை முன் பின்னாக மாற்றி வகையீடு செய்வதில் தவறில்லை. இவற்றின் வரிசைகளை மாற்றி,

$$\nabla \times \nabla \times \vec{H} = \frac{1}{c}\frac{\delta}{\delta t}\nabla \times \vec{D}$$

$$= \frac{K}{c}\frac{\delta}{\delta t}\nabla \times \vec{E} \quad (\because \vec{D} = K\vec{E}) \quad (9)$$

என்று எழுதலாம். ஆனால் சமன்பாடு 6-ன் படி

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{1}{c}\frac{\delta \vec{B}}{\delta t}$$

இதனைச் சமன்பாட்டை 9-ல் பொருத்தினால்,

$$\nabla \times \nabla \times \vec{H} = -\frac{K}{c^2}\frac{\delta^2}{\delta t^2}\vec{B}$$ என்றாகும். (10)

$$\nabla \times \nabla \times \vec{H} = \nabla \nabla \cdot \vec{H} - \nabla^2 \vec{H}$$

என்ற முற்றொருமையைப் பயன்படுத்தினால் சமன்பாடு (10)

$$\nabla \nabla \cdot \vec{H} - \nabla^2 \vec{H} = -\frac{K}{c^2} \frac{\delta^2}{\delta t^2} \vec{B} \text{ என்றாகும்.} \quad (11)$$

சமன்பாடு (8)-ன் படி $\triangle \cdot B = 0$ ஆனால் $B = \mu H$ இதில் μ காந்த உட்புகுதிறன். இஃது ஒரு மாறிலி. எனவே,

$$\nabla \cdot \vec{B} = \nabla \cdot (\mu \vec{H})$$

$$= \mu \nabla \cdot H = 0$$

எனவே சமன்பாடு (11) ஐ

$$-\nabla^2 \vec{H} = -\frac{K}{c^2} \frac{\delta^2 \vec{B}}{\delta t^2}$$

$$\nabla^2 \vec{H} = \frac{K\mu}{c^2} \frac{\delta^2 \vec{H}}{\delta t^2} \quad \dots \dots \quad (12)$$

என்று எழுதலாம். சமன்பாடு 12-ன் இடது கைப் புறத்தை நாம் தேக்காட்டின் ஆயக்கூறு முறையில் எழுதினால் (Cartesian Coordinate) சமன்பாடு 12 ஓர் அலையியக்கத்திற்கான சமன்பாடு (Differential Equation) என்பது தெளிவாகும். இந்த அலை இயக்கத்தின் திசை வேகம் $v = \frac{c}{\sqrt{K\mu}}$ ஆகும்.

இதைபோல சமன்பாடு (6) ஐ எடுத்துக் கொண்டு

$$\nabla^2 \vec{E} = \frac{K\mu}{c^2} \frac{\delta^2 \vec{E}}{\delta t^2} \quad \dots \dots \quad (13)$$

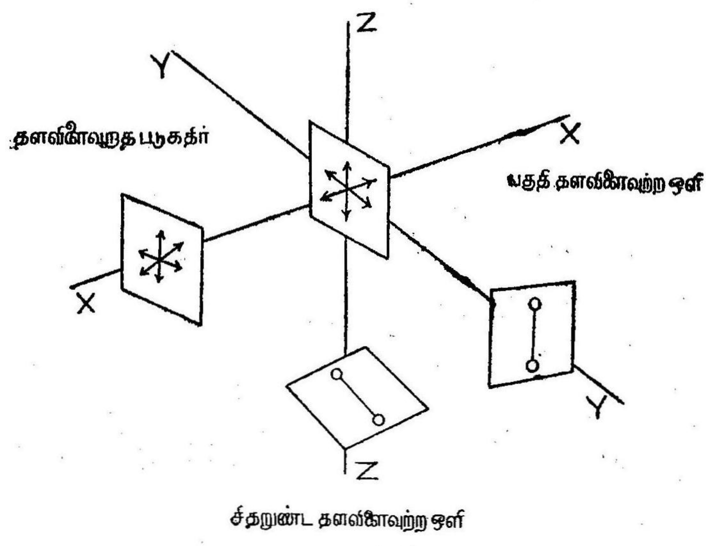
என்று காட்டலாம், இந்தச் சமன்பாடு அலையியக்கத்திற்கான சமன்படாகும்.

இவ்விரு சமன்பாடுகளும் (12, மற்றும் 13) மாறுகின்ற மின்புலமும், காந்தப் புலமும் ஓர் இடத்திலிருந்து மற்றோர் இடத்திற்கு அலை இயக்கமாகப் பரவ முடியுமென்று காட்டுகின்றன.

இந்த அலைகள் மின்காந்த அலைகளெனப்படும். வெற்றிடத்தில் μ மற்றும் K-ன் மதிப்புக்கள் 1 ஆகும். எனவே, வெற்றிடத்தில் மின்காந்த அலைகளின் திசை வேகம் c ஆகும். c என்பது ஒரு மின்காந்த அலகு மின்னேட்டத்தில் (one e. m. u of Charge) எவ்வளவு நிலை மின் அலகு மின்னேட்டமுள்ளது (c. s. u of Charge) என்பதாகும். இதன் மதிப்பு சோதனையின் மூலம் 3×10^8 $M.K.S$ அலகுகள் என்று கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளன. வெற்றிடத்தில் ஒளியின் வேகமும் சோதனை மூலம் 3×10^8 மீட்டர்கள் என்று கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. மின்காந்த அலையின் திசை வேகமும், ஒளியின் திசை வேகமும் ஒன்ருயிருந்த காரணத்தால், மாக்ஸ்வெல் முதலில் ஒளி மின்காந்த அலைகளாலானது என்று கூறினர்.

ஒளிச் சிதறலால் தளவிளைவு

சூரிய உதயமும் மறைவும் சிவப்பாக இருக்கையில், வானம் நீலமாக உள்ளது. வான ஒளி பகுதித் தளவிளைவுற்றுள்ளது. ஒளியின் படுதிசைக்கு நேர்குத்துத் திசையில் பெரும் தளவிளைவு



சிதறுண்ட தளவிளைவுற்ற ஒளி

படம் 7.

காணப்படுகின்றது. நம் தலைக்கு மேலுள்ள ஒளியை ஒரு நைக்கல் பட்டகம் அல்லது போலராய்ட் மூலம் பார்ப்பதன் மூலம் சோதித்து அறியலாம். காற்று மண்டலத்திலுள்ள தூசுகள், நீராவி,

பிராணவாயு முதலியவற்றின் மூலக்கூறுகள் ஒளியைச் சிதறச் செய்வதால் இத்தகைய விளைவுகள் தோன்றுகின்றன, ஒளிச் சிதறலைச் சாதாரணமாக ஆற்றலின் உட்கவர்தல், வெளியிடுதலாகக் கொள்ளலாம்.

ஒளியின் மின்காந்தக் கொள்கையினைக் கொண்டு ஒளிச் சிதறலை விளக்கலாம். அக் கொள்கையின்படி, ஒளி அலைகள் ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்தாக உள்ள தளங்களில் சமகால மின் காந்த அதிர்வுகளைக் கொண்டது. மேலும், ஒளியால் ஏற்படும் நிகழ்ச்சிகளுக்கு அதன் மின் வெக்டரே காரணமாகிறது.

சூரிய ஒளி (தளவிளைவுருதது) பூமியின் காற்று மண்டலத்திலுள்ள ஒரு மூலக் கூறின் (O) மேல் விழுவதாகக் கொள்வோம். ஒவ்வொரு மூலக்கூறும் நேர், எதிர் மின்னேட்டங்களைக் கொண்ட துகள்களின் தொகுதியாகும். அதன் மேல் விழும் ஒளியிலுள்ள மின் புலம் இந்த நேர் மின்னேட்டங்களுக்கு புலத் திசையிலும், எதிர் மின்னேட்டங்களுக்கு அதற்கு எதிர்த்திசையிலும் நகரச் செய்கிறது. மூலக் கூறுகளின் இம் மின்னேட்டங்கள் இறுக்கமாக கட்டுப்பட வில்லையாகையால், மின்புலத்தின் மாற்றங்களுக்கு ஏற்ப இம் மின்னேட்டங்களின் இயக்கங்களும் மாறுகின்றன. இவ்வியக்கங்கள் YZ தளத்தில்தான் நிகழ முடியும். ஆனால், அதிரும் ஒரு மின் இரு முனைவு மின் காந்த அலைகளை வெளியிடும். இவ்வாறு வெளியிடும் அலைகள் சிதறல் ஒளிகளாகின்றன. படு ஒளிக் கற்றையின் E வெக்டரின் E_y E_z கூறுகளுக்கேற்ப, Oவிலுள்ள மூலக் கூற்றினை Y அச்சுத் திசையிலும், Z அச்சுத் திசையிலும் அதிரும் இரு மூலக் கூறுகளுக்குச் சமமாகக் கொள்ளலாம். இவ்வதிர்வெண் மின் புல அதிர்வெண்ணிற்குச் சமம் ஆகும். Z அச்சுத் திசையிலும் பார்க்கும் ஒரு பார்வையாளர் படு கதிரின் Y கூறின் ஒளியினை மட்டுமே காணமுடியும். எனவே, இந்த ஒளி தளவிளைவுற்றுள்ளது. இதன் அதிர்வுகள் Y அச்சுக்கு இணையாக இருக்கும். ஒளி பரவும் திசைக்கு நேர் குத்தளத்தில் எந்தத் திசையிலும் சிதறல் ஒளி சமதளத் தளவிளைவுற்றிருக்கும். மற்ற எந்தத் திசையிலும் அவ்வொளி பகுதித் தளவிளைவுற்றிருக்கும்.

5. ஒளிப்படவியல்

(Photography)

1827-ல் ஜான் ஹென்றி ஸ்க்யூல்சி என்பவர் முதன் முதலாக, வெள்ளி நைட்ரேட்டின் ஒளி உணர்திறனைக் கண்டு, ஒரு கருந்தாளில் பொருளின் பிம்பத்தை உண்டாக்கினர். ஒளிப் பட வியலின் துவக்கமாக இதனைக் கொள்ளலாம். அன்று தொட்டு ஒளிப்படவியல் வியத்தகு முறையில் வளர்ச்சியடைந்துள்ளது. இன்று பொதுவாக ஒளிப்படவியல், சில வேதியல் பொருள்களின் மேல் ஒளி விழும்போது ஏற்படுகின்ற வேதியல் மாற்றங்களை அடிப்படையாகக் கொண்டுள்ளது. வெள்ளி ஹேலைட் (Silver halide) கலந்த கெலட்டின் (Gelatine) குழம்பினை மெம்படலமாக ஒரு பக்கத்தில் தடவப்பட்டுள்ள ஓர் ஒளிபுகு கண்ணுடித் தகட்டில், ஒரு பொருளின் பிம்பத்தை ஒரு வில்லைத் தொகுப்பின் மூலம் குவிக்கச் செய்தால் தட்டில் அப் பொருளின் தலைகீழ் பிம்பம் ஏற்படும். ஒளி விழுந்த வெள்ளி, ஹேலைட், வேதியல் மாற்றங் களினுல் வெள்ளித் தனிமமாக மாறி விடுகிறது. ஒளி விழாத பகுதிகளில் இத்தகைய மாற்றங்கள் ஏற்படாது. பின்னர் இப் பகுதிகளை மட்டும் தட்டிலிருந்து கழுவி விடலாம். வெள்ளி ஹேலைட் ஒளிபுகு தன்மையுடையது. எனவே, தட்டில் பொருளின் ஒளி பொருந்திய பகுதி கருமையாகவும், கருமையான பகுதி ஒளி புகும் தன்மையுடனுமிருக்கும். அல்லது பொருளின் ஒளிப்பகுதியும், இருள் பகுதியும் தட்டில் இருள் பகுதியாகவும் ஒளிப்பகுதியாகவும் காணப்படும். இது நெகடிவ் அல்லது எதிர்ப்படம் எனப்படும் இந்த எதிர்ப்படத்தட்டை பொருளாகக் கொண்டு, மற்ரேர் ஒளிப் படத் தட்டில் பிம்பம் விழச் செய்தால், எதிர்ப்படத் தட்டின் ஒளிப்பகுதி இப்பொழுது இருள் பகுதியாகவும், இருள் பகுதி ஒளிப் பகுதியாகவும் அமைந்து, மூலப் பொருளின் பிம்பத்தை ஏற்படுத்தும். இஃது எதிர்ப் படத்தின் எதிர்ப் படமாதலால் நேர்ப் படம் அல்லது பாசிடிவ் (positive) எனப்படும்.

ஒளிப்படப் பெட்டி (Photographic camera) :

ஓர் ஒளிப்படப் பெட்டி கீழ்வரும் பகுதிகளைக் கொண்டிருக்க வேண்டும்.

(1) உண்மைப் பிம்பத்தைத் திரையில் தோற்றுவிக்கும் ஒரு வில்லைத் தொகுதி.

(2) பிம்பம் விழும் இடத்தில் ஒளிபடத் தட்டு (photographic plate) பொருந்தக்கூடிய ஒரு தாங்கி.

(3) ஒளிப்படத் தட்டில், வில்லைத் தொகுப்பின் வழியினைத் தவிர மற்ற வழிகளில் ஒளி விழாமல் செய்ய ஒரு ஒளி புகாத் தடுப்பு அமைப்பு.

(4) வில்லைத் தொகுப்பின் வழியாக தேவையான அளவிற்கும், தேவையான நேர்த்திற்கும் ஒளியினைப் புகச் செய்யக் கூடிய ஒரு வழியமைப்பு.

(5) ஒளிப் படம் எடுக்கும் பொருளின் பிம்பத்தைக் காட்டக் கூடிய ஒரு திரைக் கண்ணாடி.

ஒரு பொருளை ஒளிப்படம் எடுக்க, பொருளிலிருந்து வரும் ஒளி வில்லைத் தொகுப்பின் வழியாகச் சென்று கண்ணாடி ஒளிப் படத் தட்டில் மெய் பிம்பம் ஏற்படுத்துகிறது. இப் பிம்பம் தெளிவாக இருக்க, வில்லைத் தொகுப்பிற்கும் தட்டிற்கும் இடையி லுள்ள தூரத்தை மாற்றி அமைக்க வேண்டியிருக்கும். இதற்கு ஏற்ற வகையில் ஒளிப்படப் பெட்டி மடங்கக் கூடிய தோலினால் ஆக்கப்பட்டிருக்கும்.

ஒளிப்படத் தட்டு (Photograpic plate)

ஒளிப்படத் தட்டில் பூசப்பட்டுள்ள ஒளிப்படக் குழம்பு (கெலட்டின்) வெள்ளி ஹேலைட் படிகங்களைக் கொண்டிருக்கும். கண்ணாடித் தட்டு அல்லது ஒளிபடத் தாளின் மேல் வெள்ளி ஹேலைட்டைப் பிடித்துக் கொண்டிருக்கும் ஓர் ஊடகமாகக் கெலட்டின் பயன்படுகிறது. அக் குழம்பில் ஹேலைட்டுடன் கடினப் படுத்துவதற்கான பொருள்களும் சேர்ந்திருக்கும். எதிர்ப்படத் தட்டில் பூசப்பட்டுள்ள குழம்பு சிறு அளவு வெள்ளி அயோடைட் டுடன் கூடிய வெள்ளி புரோமைட் கொண்டிருக்கும். தாளில் பூசப்பட்டுள்ள குழம்பு வெள்ளி குளோரைட்டை மட்டுமோ அல்லது வெள்ளி குளோரைட், வெள்ளி புரோமைட் இவற்றின் கலவையையோ கொண்டிருக்கும். எதிர்ப்படத் தட்டில் பூசப் பட்டுள்ள குழம்பிலுள்ள படிகங்கள் பெருமமாக 3 முதல் 5 மைக்ரான் அளவு உடையதாகவும், மொத்தக் குழம்பு எடையில் 30 முதல் 40 சதவீதம் வரையிலுமிருக்கும். நேர்ப்படத்தாளில்

பூசப்பட்டுள்ள குழம்பு எதிர்படத் தட்டிலுள்ளதைவிட மெல்லிய தாக இருக்கும்.

பட வளர்ச்சி (Develoment)

ஒளிப் படத் தட்டில் மறைந்திருக்கும் உருவத்தை வளரச் செய்து கண்ணிற்குத் தெரியும் படமாகச் செய்வது படவளர்ச்சி எனப்படும். ஒளிப் படத் தட்டில் விழும் ஒளியின் செறிவிற்கு ஏற்ப வெள்ளித் தனிமம் படிந்திருக்கும். ஒளி விழாத பகுதியில் வெள்ளித் தனிமம் படிந்திருக்காது. இப் பட வளர்ச்சிக்குச் சில அங்கக வேதியல் ஒடுக்கும் பொருள்கள் (organic chemical reducing agents) பயன்படுகின்றன. பிம்பம் விழுந்த ஒளிப்படத் தட்டில் படம் வளரச் செய்யப் பயன்படும் வேதியல் பொருள் டெவலப்பர் அல்லது வளர்ப்பான் எனப்படும். இதனைக் கீழ் காணும் பொருள்களைக் கொண்டு தயாரிக்கலாம்.

மெட்டால் 1 கிராம்

ஹைட்ரோக்யுனோன் 3 கிராம்

சோடியம் சல்பைட் (படிகம்) } 35 கிராம்

சோடியம் கார்பனேட் (படிகம்) } 35 கிராம்

நீர் 500 க.செ.மீ.

பொட்டாஷியம் புரோமைட் 0·3 கிராம்

மேலே குறிப்பிட்டுள்ள பொருள்களை நீரில் கொடுத்துள்ள வரிசையில் எடுத்துக் கொள்ளவேண்டும். முதலில் எடுத்த பொருள்கள் நன்றாகக் கரைந்தபின் அடுத்த பொருளைச் சேர்க்க வேண்டும். இவ்வாறு தயாரித்த வளர்ப்பானை நன்றாக மூடப் பட்ட ஒரு புட்டியில் வைத்துப் பயன்படுத்தும் போது தேவையான அளவு வளர்ப்பானுடன் சமமான அளவு நீர் கலந்து பயன்படுத்தலாம். பொதுவாக நல்ல முறையில் படம் வளர்ச்சி பெற, வளர்ப்பான் கரைசலை $65°F$ வெப்பநிலைக்கும், $70°F$ வெப்ப நிலைக்கும் இடையில் வைத்திருப்பது நலம்.

ஒளி விழுந்த படத்தட்டில் படம் வளரச் செய்ய முதலில் அத் தட்டை நீரில் மென்மையுடன் கழுவிப் பின்னர் வளர்ப்பான் வைக்கப்பட்டுள்ள வாய் அகன்ற சிறு தொட்டியில் வைக்க வேண்டும். படம் வளர்ந்து தெரியும் வரை அச்சிறு தொட்டியை ஆட்டிக் கொண்டிருக்க வேண்டும். இவ்வாறு படத்தை வளரச் செய்வதை ஓர் இருண்ட அறையில் ஒளி விழாமல் செய்ய

வேண்டும். சில வகை ஒளிப்படத் தட்டுகளைக் குறைந்த அளவு சிவப்பு வெளிச்சத்தில் வளர்ச்சி செய்யலாம்.

இவ்வாறு பட வளர்ச்சி முடிந்ததும் தட்டைச் சிறிது நேரம் தூய நீரில் கழுவிப் பின்னர் மற்றொரு சிறு தொட்டியிலுள்ள ஹைப்போ கரைசலில் 10 அல்லது 15 நிமிடங்கள் வைக்க வேண்டும். இவ்வாறு பட வளர்ச்சி அடைந்த தட்டை இக் கரைசலில் வைத்தவுடன் படம் விழாத மற்ற பகுதியிலுள்ள வெள்ளி ஹேலைட் கரைக்கப்பட்டு விடுகிறது. இதன்பின் எதிர்ப் படத்தைத் தூய நீரில் கழுவ வேண்டும்.

படப்படிவமெடுத்தல் (Photographic printing)

எதிர்ப்படத்திருந்து படமெடுப்பதை இரு முறைகளில் செய்யலாம்.

(1) தொடுகை முறை. இதில் நேர்ப்படம், எதிர்ப்படம் இரண்டும் ஒரே அளவுடையதாயிருக்கும்.

(2) பெருக்கி முறை. இதில் நேர்ப்படத்தை எதிர்ப்படத்தை விடப் பெரியதாகவும் செய்யலாம். பொதுவாக நேர்ப்படம் ஒளிப் படத்தாளில் எடுக்கப்படும்.

தொடுகை முறையில் நேர்ப்படம் எடுக்க எதிர்ப்படத்தை அதற்கான ஒரு சட்டத்தில் அதன் குழம்புப் பகுதி மேல்புறம் இருக்குமாறு வைத்து அதன்மீது நேர்ப்படம் விழ வேண்டிய படத்தாளை அதன் குழம்புப் பகுதி இருக்குமாறும், அதாவது நேர்ப்படத்தாளின் குழம்புப் பகுதியும், எதிர்ப்படத் தாளின் குழம்புப்பகுதியும் ஒன்றோடொன்று ஒட்டிக் கொண்டு இருக்குமாறு வைத்து, ஒரு விளக்கிலிருந்து ஒளியினை எதிர்படத் தட்டின் வழி சென்று தாளில் விழுமாறு வைக்க வேண்டும். தேவையான நேரம் இவ்வாறு ஒளி விழச் செய்து பின் நேர்ப்படத் தாளில் வளர்ச்சி செய்து கழுவி, பின் நிலைபெறச் செய்து நிழல் படம் பெறலாம்.

பெருக்கி முறையில் ஒரு பெருக்கியைப் (Enlarger) பயன் படுத்த வேண்டும். ஒரு பெருக்கி, ஓர் ஒளி மூலத்தையும் ஒரு எறியும் வில்லையையும் (protecting lens) கொண்டிருக்கும். எதிர்ப்படத் தட்டை ஒளி மூலத்தையும், எறி வில்லைக்கும் இடையில் அதன் குழம்புப் பகுதி கீழிருக்குமாறு வைக்கவேண்டும். இவ்வில்லை ஏற்படுத்தும் பிம்பம் தெளிவாகக் கீழே ஒரு மேடையில் வைக்கப்பட்டுள்ள தாளில் விழுமாறு செய்து, பின்னர் அவ்விடத்தில் நேர்ப்படம் விழ வேண்டிய தாளை அதன் குழம்புப் பகுதி மேல்புறமிருக்குமாறு வைத்தால், பிம்பம் ஒளிப்படத் தாளில் விழும். பின் இத் தாளில் வளர்ச்சி முறை